Montpellier SupAgro

MAS SAINT GERMAIN

Projet d'élèves ingénieurs
n°32

Analyse et amélioration du système hydraulique du Mas Saint-Germain

Par

Chloé Champeyroux
Maroua Nouri
Pierre Patrice
Élodie Rasson
Camille Richon

Année de soutenance : 2013

Montpellier SupAgro

MAS SAINT GERMAIN

Projet d'élèves ingénieurs

Analyse et amélioration du système hydraulique du Mas Saint-Germain

Par

Chloé Champeyroux
Maroua Nouri
Pierre Patrice
Élodie Rasson
Camille Richon

Organisme commanditaire : Mas Saint-Germain

Tuteur projet : Madame Laure VADON

Rapport préparé sous la direction de : Monsieur Gilles BELAUD

Projet soutenu le : 10/01/2013

Devant le jury suivant : **M. Sylvain LANAU (Représentant scientifique)**
Mme Anne VADON (Représentante professionnelle)
Mme Odile PROSPERI (Animatrice)

Avertissement

Le présent document rend compte d'un travail d'investigation et d'analyse réalisé dans le cadre d'une activité pédagogique.

Le Projet d'élèves ingénieurs fait partie du tronc commun de la formation ingénieur, il débute en fin de première année d'école (bac+3) et se termine au cours de la deuxième année ; les étudiants concernés ne sont pas alors spécialisés et c'est pour beaucoup d'entre eux le premier travail d'ordre professionnel.

Le temps imparti à la rédaction apparaît souvent limité eu égard à la complexité du sujet.

Au lecteur ainsi averti d'en tenir compte dans la prise en compte de cette production intellectuelle.

Remerciements

Nous tenons tout d’abord à remercier la commanditaire de cette étude, Mme Laure Vadon pour nous avoir permis de travailler sur ce projet qui fut très formateur.

Nous tenons également à remercier notre tuteur campus, M. Gilles Belaud, pour sa disponibilité et ses nombreux conseils, qui nous ont été d'une aide précieuse pour la compréhension des problèmes hydrauliques.

Nous remercions M. François Charron, directeur adjoint du Domaine du Merle, pour nous avoir accueilli et éclairé sur les systèmes de transport d’eau et d’irrigation.

Nous remercions enfin M. Nicolas Devaux pour son aide concernant l'utilisation du logiciel de cartographie QuantumGIS, ainsi que Mme Anne Pellegrino pour avoir répondu à nos questions sur les bilans hydriques.

Glossaire

Bilan hydrique : bilan permettant de suivre les réserves en eau du sol au cours du temps. Il prend en considération les apports par irrigation et précipitation et la consommation de l'eau par la culture présente sur la parcelle. Ce bilan est établi pour une période et un lieu donnés. Il permet de vérifier que l'apport par irrigation est suffisant afin d'éviter tout stress hydrique aux cultures. Il permet également de limiter toute perte d'eau par ruissellement ou infiltration en s'assurant que l'apport d'eau par irrigation est bien adapté aux besoins.

Coefficient cultural : coefficient correspondant au rapport entre l'évapotranspiration maximale et l'évapotranspiration de référence. Il permet d'intégrer les caractéristiques de la culture donnée par rapport à la culture de référence qui est le gazon: hauteur, albédo, résistance stomatique,... Ce coefficient dépend du type de culture et du stade physiologique de la plante.

Coefficient de Strickler : coefficient de rugosité. Les valeurs sont tabulées en fonction du type de cours d'eau : canal en béton, canal en terre,... Il intervient dans la formule de Manning-Strickler qui permet de calculer la vitesse d'écoulement de l'eau en régime uniforme.

Coefficient de stress : coefficient lié à la réserve hydrique du sol. Il permet de prendre en compte l'état de la réserve utile du sol dans le calcul de l'évapotranspiration de la culture. Il dépend également du type de culture, étant donné que chaque culture a une résistance spécifique aux conditions de stress hydrique.

Evapotranspiration : quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par évaporation au niveau du sol et transpiration des plantes. L'évapotranspiration de référence correspond à l'évapotranspiration du gazon dans des conditions hydriques idéales et des conditions climatiques données.

Irrigation gravitaire : mode d'irrigation ancestral dans lequel l'écoulement de l'eau se fait selon la pente naturelle du sol. Aucune force extérieure n'est utilisée pour amener l'eau aux parcelles.

Ligne d'eau : ligne matérialisant la hauteur d'eau dans un cours d'eau.

Martillère : ouvrage permettant de gérer la circulation de l'eau dans le réseau hydraulique. Une vanne permet de réguler l'ouverture de la martillère.

Perte de charge : dissipation d'énergie dans un écoulement. La perte de charge augmente avec la rugosité sur les parois d'écoulement. Elle est généralement exprimée par une différence de pression ou par une hauteur de colonne d'eau.

Réserve utile : quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. La réserve utile dépend de la texture et de la profondeur du sol.

Roubine : fossé d'irrigation. A la différence d'un canal, l'eau doit être pompée pour permettre l'irrigation des parcelles.

Système d'information géographique : outil informatique permettant, à partir de différentes sources, d'organiser et de présenter des données géoréférencées et de produire des cartes numériques.

Tour d'eau: temps nécessaire, entre deux irrigations, pour épuiser la réserve facilement utilisable en eau du sol.

Tronçon prismatique : portion de canal sur laquelle la géométrie et la pente sont constantes selon la direction longitudinale.

Sigles et abréviations utilisés

ASA : Association Syndicale Autorisée

EARL : Exploitation Agricole à Responsabilités Limitées

ET_{ref} : Evapotranspiration de référence

ETR : Evapotranspiration réelle

IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

K : Coefficient de Strickler

Kc : Coefficient cultural

Ks : Coefficient de stress

RFU : Réserve Facilement Utilisable

RU : Réserve utile du sol

SARL : Société à Responsabilités Limitées

SIG : Système d'Information Géographique

Table des matières

Introduction 8
I. Contexte de l'étude réalisée 8
A. Environnement de l'exploitation 8
B. Le fonctionnement de l'exploitation 8
C. Le mode d'irrigation de l'exploitation 9
D. Problèmes rencontrés par les exploitants 9
E. Organisation générale du travail 9
II. Réalisation de l'état des lieux de l'exploitation 10
A. Description des problèmes posés par l'abreuvement direct des animaux 10
1. La dégradation des berges par les animaux 10
2. Des risques sanitaires importants pour les animaux 10
3. Des risques de blessures pour les animaux 11
B. Etat des lieux des infrastructures présentes sur l'exploitation 11
C. Etat des lieux du système d'entrée d'eau dans l'exploitation 12
1. Description du mode d'alimentation en eau de l'exploitation 12
2. Mesure des débits en entrée de l'exploitation 13
D. Conduite actuelle de l'irrigation 14
E. Réalisation d'une carte numérique de l'exploitation 15
1. Intérêts pour l'exploitation de disposer d'une carte numérique 15
2. Choix du logiciel de cartographie utilisé 15
3. Présentation de la carte réalisée 15
III. Etude du système d'alimentation en eau de l'exploitation 18
A. Analyse du fonctionnement 18
B. Mise en place d'un modèle hydraulique pour comprendre les problèmes liés à l'alimentation en eau de l'exploitation 18
C. Etude du temps de remplissage de la roubine d'entrée sur l'exploitation 20
D. Comparaison des coûts d'irrigation par le canal et la roubine de la petite Montlong 20
1. Fonctionnement actuel 20
2. Comparaison des factures et stratégies d'irrigation 21
3. Factures d'eau prévisionelles 23
IV. Amélioration du système d'irrigation 23
A. Irrigation de nouvelles parcelles 23
1. Irrigation des parcelles Pasquiers Est et Ouest 24
2. Irrigation de la parcelle Ere 24
3. Irrigation de la parcelle Romieux 25
4. Mise en place de martillères supplémentaires 25
B. Quantification des besoins réels en eau des cultures 26
1. Elaboration d'un bilan hydrique 26
i. Détermination de l'évapotranspiration réelle de la plante 27
ii. Détermination du coefficient cultural Kc 29
iii. Détermination du coefficient de stress Ks 29
iv. Calcul de la dose d'irrigation 29
v. Modalités d'utilisation du bilan hydrique 30
2. Quantification du temps d'irrigation 31
i. Présentation des calculs effectués 31
ii. Présentation du modèle obtenu 32
V. Propositions d'aménagements et d'améliorations du réseau 33
A. Exemples d'infrastructures d'irrigation possibles 33
1. Utilisation de canaux portés en béton 33
2. Utilisation de canaux en béton projeté, avec un fond drainant 33

3. Utilisation de membranes en PVC ou Polyéthylène 34
B. Analyse des méthodes d'abreuvement des animaux 34
1. Positionnement des points d'abreuvement sur l'exploitation 34
2. Proposition de différentes solutions d'abreuvement possibles 35
3. Le dimensionnement des points d'abreuvement 38
Conclusion 40
Bibliographie relative au rapport 41
Annexes au rapport 42

Introduction

Le Parc Naturel Régional de Camargue est une zone classée Natura 2000, mais au-delà de la réserve naturelle, cette région compte de nombreux agriculteurs et éleveurs. Cette forte présence agricole impose une gestion de l'eau réglementée et précise. L'agriculture en Camargue n'est possible que par la désalinisation des terres, obtenue par une irrigation prolongée, par exemple lors de la culture du riz. Le Mas Saint-Germain souhaiterait rénover et moderniser ses installations hydrauliques. Dans cette exploitation familiale, on élève des taureaux et des chevaux. On y cultive également du riz et du blé bénéficiant de l'appellation « agriculture biologique ». Néanmoins, les consommations exactes d'eau ne sont pas connues et l'exploitation souffre de problèmes liés à l'alimentation en eau des cultures, à la circulation de l'eau sur l'exploitation ainsi qu'à l'abreuvement des animaux. Cette étude vise à réaliser un état des lieux des difficultés rencontrées au niveau du système hydraulique afin de proposer des recommandations pour l'améliorer et permettre une meilleure gestion de l'eau sur l'exploitation.

Dans un premier temps, nous établirons le diagnostic du réseau hydraulique actuel en présentant l'état des lieux des structures existantes ainsi que le mode de fonctionnement du réseau. Cet état des lieux aboutira à la réalisation d'une cartographie numérique de l'exploitation. Nous analyserons ensuite le système d'entrée d'eau sur l'exploitation, et présenterons des solutions visant à l'améliorer. Le système d'irrigation sera ensuite étudié afin de proposer des solutions pour l'irrigation de nouvelles parcelles. Un modèle de quantification des besoins en eau des cultures et du temps d'irrigation sera également proposé. Enfin, nous étudierons des aménagements possibles du réseau hydraulique ainsi que des méthodes alternatives d'abreuvement des animaux, dans le but de limiter la dégradation des berges.

I. Contexte de l'étude réalisée

A. Environnement de l'exploitation

L'exploitation du Mas Saint-Germain est située à Arles (13200), à Villeneuve Camargue. La Camargue est un espace marécageux du sud de la France formé par le Delta du Rhône. Cette région est composée de deux parties : des terres agricoles au Nord et des marais et plans d'eau salée au Sud. Elle est fortement marquée par la présence d'élevages de chevaux et taureaux de race Camargue ainsi que par une production de riz qui en font sa renommée.

La Camargue est une zone plate, caractérisée par un climat méditerranéen et la présence d'une nappe salée très peu profonde. La région connaît une période estivale particulièrement sèche. De nombreux aménagements ont été mis en œuvre depuis le 19ème siècle tels que la mise en place de réseaux de drainage, d'endiguement du delta et de stations de pompage afin de permettre l'irrigation dans cette région. Des canaux permettent l'apport d'eau douce aux rizières et autres cultures et évitent une salinisation trop importante des terres.

B. Le fonctionnement de l'exploitation

Le Mas Saint-Germain est une exploitation familiale de 160 ha regroupant une EARL et une SARL. Notre commanditaire, Mme Vadon, est responsable de la partie SARL. L'autre partie du mas est gérée par son frère.

L'exploitation fonctionne grâce à l'élevage de chevaux et taureaux pour la course camarguaise. Le troupeau est composé de 40 chevaux et d'environ 200 taureaux. L'exploitation produit également du blé et du riz sur 22 ha. Etant situé au cœur du parc naturel régional de Camargue, le tourisme est aussi une des activités du mas puisque l'exploitation accueille les touristes en toutes saisons, et ce depuis plus de 25 ans.

Dans un souci de respect de l'environnement et des territoires dont elle dispose, l'exploitation pratique une agriculture biologique. Ceci se traduit par une rotation des cultures et par une diminution de l'utilisation des intrants. Tout intrant chimique de synthèse est notamment

interdit. Dans le cadre d'une agriculture extensive, les troupeaux de taureaux et de chevaux pâturent sur l'exploitation. Leur ration peut être complétée par du foin produit dans les prés du mas.

C. Le mode d'irrigation de l'exploitation

L'exploitation est alimentée en eau de deux manières :

Par un canal en relief : L'exploitation est alimentée par le canal de la petite Montlong pour lequel elle possède un droit d'eau de 1 L/s.

Par une roubine : Une roubine est un fossé dont l'eau doit être pompée afin d'irriguer les parcelles. La roubine de la petite Montlong alimente l'exploitation. Cette dernière y possède un droit d'eau de 100 L/s.

L'exploitation est alimentée en eau une seule fois par semaine en hiver. L'eau sert alors uniquement à l'abreuvement des animaux puisque les parcelles n'ont plus besoin d'être irriguées. Du 1er avril à mi-septembre, le Mas Saint-Germain est alimenté en eau tous les jours selon ses droits d'eau, ce qui permet également d'irriguer les parcelles de riz, les prairies et les prés. Les prés sont irrigués toutes les deux semaines, et Mme Vadon souhaiterait pouvoir irriguer les prairies une fois par mois.

D. Problèmes rencontrés par les exploitants

- **Système hydraulique**

Le système hydraulique de l'exploitation est vieillissant. Certains ouvrages sont endommagés entraînant des pertes d'eau lors du transport et une augmentation du temps d'irrigation. Un état des lieux est à réaliser afin de prévoir les travaux qui permettraient d'optimiser le système hydraulique et de l'adapter aux besoins de l'exploitation. De plus, il existe aussi des problèmes concernant l'alimentation de l'exploitation en eau.

- **Irrigation des parcelles**

Les parcelles sont actuellement irriguées sans réelles notions des volumes apportés et des quantités d'eau que nécessitent les différentes cultures. De plus, l'exploitation souhaite irriguer des parcelles qui ne le sont pas pour le moment. Un des objectifs est donc de quantifier les besoins de chaque parcelle afin de limiter les déperditions et les rejets à l'étang de Vaccarès.

- **Abreuvement des animaux**

A l'heure actuelle, les animaux s'abreuvent directement dans les roubines et canaux présents sur les parcelles. Le piétinement a pour conséquence une déstructuration et une érosion des berges, endommageant d'autant plus le réseau d'irrigation. Des solutions d'abreuvement des animaux adaptées et respectueuses de l'environnement doivent donc être apportées.

E. Organisation générale du travail

L'étude à réaliser devant principalement porter sur la mise en place d'un état des lieux du réseau hydraulique de l'exploitation, c'est autour de ce point que notre démarche s'est articulée. En effet, nous avons choisi de passer un temps important sur l'exploitation dès le début de l'étude, de façon à nous imprégner au mieux des difficultés rencontrées par les exploitants. Cette phase d'observation nous a alors amenée à nous interroger sur la façon de présenter au mieux l'ensemble des problèmes observés. Compte tenu de la diversité des éléments à étudier, le choix a été fait de les centraliser au sein d'une cartographie permettant à la fois de visualiser aisément l'étendue de ces problèmes, mais aussi de les re-situer au sein de l'exploitation.

Cette première phase d'observation a ensuite été suivie par une phase de collecte et d'analyse des données. C'est notamment lors de cette étape que nous avons analysé les besoins en eau des cultures et décidé de mettre en place des modèles d'irrigation offrant à l'exploitante une gestion améliorée des quantités d'eau apportées. Un autre modèle, permettant de mieux comprendre les problèmes liés à l'alimentation en eau de l'exploitation, a également été proposé. Enfin, nous avons effectué une comparaison des coûts d'irrigation par la roubine et par le canal.

En parallèle des deux phases précédentes, nous avons collecté des données bibliographiques et effectué une visite du domaine du Merle (domaine expérimental appartenant à Montpellier SupAgro) en vue de proposer des solutions d'amélioration des infrastructures existantes au Mas Saint-Germain.

II. Réalisation de l'état des lieux de l'exploitation

A. Description des problèmes posés par l'abreuvement direct des animaux

Le Mas Saint-Germain compte environ 200 taureaux, ainsi qu'une quarantaine de chevaux qui sont répartis sur les 160 ha de l'exploitation. Suite à l'absence de points d'eau fixes, ces animaux s'abreuvent directement dans les canaux ou les roubines. Cet accès direct soulève plusieurs problèmes pour l'exploitation, à la fois en terme de dégradation des berges par les animaux, mais aussi en terme de propreté de l'eau d'abreuvement puisque cette dernière est souvent stagnante et que les animaux y font leurs besoins.

1. La dégradation des berges par les animaux

L'accès direct des animaux aux cours d'eau se traduit par le piétinement et la dégradation des berges, en particulier celles qui délimitent les roubines de l'exploitation. En effet, les taureaux et les chevaux élargissent progressivement des points d'eau, en pente douce, qu'ils utilisent pour descendre s'abreuver, et provoquent ainsi une érosion localisée des berges. Plusieurs de ces dégradations sont observables sur l'exploitation. Elles atteignent souvent des dimensions importantes qui gênent le travail des exploitants notamment lorsqu'ils circulent avec des véhicules.

L'apparition de ces dégradations est favorisée par l'absence de réseaux racinaires issus d'une végétation qui consoliderait les berges. Cette érosion des berges est associée à une disparition d'un couvert végétal qui permet l'existence de zones ombragées nécessaires au bien être des troupeaux.

2. Des risques sanitaires importants pour les animaux

L'accès direct des animaux aux cours d'eau pose aussi des problèmes d'un point de vue de la qualité des eaux d'abreuvement. En effet, l'eau présente dans le réseau hydraulique de l'exploitation est souvent stagnante, notamment en raison des possibilités limitées de renouvellement de l'eau sur la période hivernale, où l'eau ne peut entrer sur l'exploitation qu'une seule fois par semaine. Les eaux stagnantes étant des eaux de prédilection pour de nombreux parasites et coliformes fécaux, elles peuvent être responsables de problèmes sanitaires sur les troupeaux lorsque ces derniers s'y abreuvent. De plus, comme tous les individus du troupeau utilisent la même eau, les maladies véhiculées peuvent contaminer un troupeau rapidement et engendrer des problèmes de diarrhées virales, d'infertilité, ou d'avortement[1].

[1] Chambre d'agriculture des Deux-sèvres, Agricultures et territoires, *L'abreuvement au pâturage,* Juillet 2011.

3. Des risques de blessures pour les animaux

L'abreuvement direct des animaux dans les roubines présente aussi des risques physiques pour les troupeaux. En effet, à force de piétiner une même zone, le sol est de moins en moins stabilisé et peut représenter un piège pour les animaux. De plus, dans le cas des taureaux, ce risque est renforcé par leur tendance à aller s'abreuver en groupes, ce qui augmente les possibilités de blessure puisqu'ils se retrouvent alors tous ensemble dans la roubine.

A noter toutefois que ces dangers pour les animaux, à la fois sanitaires et physiques, sont actuellement peu rencontrés sur l'exploitation.

B. Etat des lieux des infrastructures présentes sur l'exploitation

Les roubines et les canaux ont été, quand cela était possible, mesurés et évalués. Les dimensions prises sur le terrain sont la largeur et la profondeur. A noter que les mesures de longueur, exprimées en mètres, ont été effectuées grâce au logiciel QuantumGIS. Les mesures de terrain auraient en effet pris trop de temps. Enfin, l'encombrement des roubines et canaux a également été déterminé grâce à l'échelle suivante :

Niveau d'encombrement	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Etat d'encombrement associé	Dégagé, lisse	Début de végétation	Végétation développée	Roseaux, branches, herbes hautes	Végétation abondante, arbres

Le tableau ci-dessous est un bilan de l'état des lieux des roubines :

ID	FORME	LARGEUR_M	LONGUEUR_M	HAUTEUR_M	MATERIAU	ENCOMBREME
1	semi ellipsoïdale	non renseigné	non renseigné	non renseigné	terre	non renseigné
2	semi ellipsoïdale	2,5	225	3	terre	4
3	semi ellipsoïdale	4,1	365	1,1	terre	4
4	semi ellipsoïdale	4,1	515	1,1	terre	3
5	semi ellipsoïdale	non renseigné	235	non renseigné	terre	3
6	semi ellipsoïdale	4,1	273	1,1	terre	4
7	semi ellipsoïdale	4,1	398	1,1	terre	5
8	circulaire (tuyau ...	0,35	48	0,35	PVC	non renseigné
9	semi ellipsoïdale	5,3	26	1,1	terre	2
10	semi ellipsoïdale	4,1	85	1,2	terre	2
11	semi ellipsoïdale	1,5	54	0,7	terre	1
12	semi ellipsoïdale	4,1	124	1,1	terre	5

L'encombrement général des roubines est important. De nombreux arbres sont tombés en travers des roubines. De plus, ces dernières étant souvent bordées d'arbres, prendre leurs dimensions n'était pas chose facile. Nous avons alors décidé de généraliser les valeurs mesurées dans une roubine dégagée (4.1m de large pour 1.1m de profondeur) aux roubines dont nous n'avons pu mesurer les dimensions.

Il faut aussi ajouter à cela le fait que les animaux s'abreuvent directement dans les roubines et dégradent ainsi les berges. Le tableau suivant décrit les élargissements de la roubine aux niveaux des points d'abreuvement :

ID	LARGEUR_M	LONGUEUR_M
1	15.6	non renseignée
2	10	10
3	2.7	9
4	3.1	8,1
5	3	2,5
6	3	2,35
7	3	2,4

Ces dégradations sont donc très importantes. Chaque jour, le passage des animaux accentue l'érosion des berges. L'exploitation va devoir rapidement trouver des solutions pour régler ce problème et empêcher l'accès de la roubine aux animaux.

Le tableau suivant fait le bilan de l'état des lieux des canaux :

ID	FORME	LARGEUR_M	LONGUEUR_M	HAUTEUR_M	MATERIAU	ENCOMBREME
1	semi ellipsoïdale	non renseigné	non renseigné	non renseigné	béton	non renseigné
2	rectangulaire	0,47	255	0,5	béton	2
3	rectangulaire	0,47	5	0,5	béton	2
4	semi ellipsoïdale	1,4	255	0,8	béton	2
5	trapèzoidale	1,4	215	0,8	béton	4
6	trapèzoidale	1,4	119	0,8	béton	4
7	semi ellipsoïdale	non renseigné	170	non renseigné	terre	1
8	semi ellipsoïdale	non renseigné	340	non renseigné	terre	2
9	semi ellipsoïdale	non renseigné	81	non renseigné	terre	non renseigné
10	semi ellipsoïdale	1,45	77	0,7	terre	1
11	semi ellipsoïdale	2,1	59	0,4	terre	1
12	semi ellipsoïdale	2,5	97	non renseigné	terre	1
13	semi ellipsoïdale	non renseigné	100	non renseigné	terre	1
14	semi ellipsoïdale	non renseigné	239	non renseigné	terre	1
15	circulaire (tuyau ...	non renseigné	25	non renseigné	PVC	non renseigné
16	semi ellipsoïdale	non renseigné	416	non renseigné	terre	1
17	circulaire (tuyau ...	non renseigné	323	non renseigné	PVC	non renseigné
18	non renseigné	non renseigné	702	non renseigné	non renseigné	1
19	non renseigné	non renseigné	228	non renseigné	non renseigné	non renseigné
20	non renseigné	non renseigné	240	non renseigné	non renseigné	non renseigné
21	semi ellipsoïdale	non renseigné	100	non renseigné	terre	non renseigné

Les canaux sont en général en meilleur état que les roubines. Les martillères situées le long de ces canaux sont quant à elles souvent en mauvais état. Le tableau ci-dessous résume l'état de ces martillères :

ID	HAUTEUR_M	LARGEUR_M	ETAT
1	0.47	0.43	manquante
2	0.47	0.43	fuit
3	0.43	0.59	bon état
4	0.47	0.43	fuit
5	0.4	0.5	bon état

A noter que cet état des lieux n'est pas exhaustif, et rend compte uniquement des observations que nous avons pu effectuer sur le terrain (notamment concernant la présence de martillères).

C. Etat des lieux du système d'entrée d'eau dans l'exploitation

1. Description du mode d'alimentation en eau de l'exploitation

Actuellement, l'exploitation est alimentée en eau de deux manières : par la roubine et le canal de la Petite Montlong. L'eau contenue dans ces ouvrages est pompée depuis le Rhône grâce à une station située à environ 2,3 km en amont de l'exploitation. Le canal permet d'alimenter l'exploitation en eau sans installation hydraulique particulière car la circulation de l'eau est gravitaire. En revanche, l'alimentation grâce à la roubine nécessite des installations visant à faire monter le niveau de l'eau, le niveau de la roubine étant inférieur au niveau du système hydraulique

de l'exploitation. L'entrée de l'eau dans le mas se fait au même endroit pour les deux voies d'alimentation.

Le canal et la roubine sont gérés par l'ASA de la petite Montlong. Le Mas Saint-Germain possède des droits d'eau pour le canal de 1 L/s. Nous n'avons pas trouvé la signification précise de cette valeur ; il peut s'agir d'un débit moyen sur toute l'année ou d'un débit réel (l'exploitante faisant entrer 1 L/s à chaque fois qu'elle prélève de l'eau). Pour la roubine, le droit d'eau est de 100 L/s ce qui correspond vraisemblablement à un débit maximal sur une durée indéterminée.

Pour que l'eau entre dans l'exploitation, il faut ouvrir des martillères afin de laisser entrer une partie du débit de la roubine et du canal de la petite Montlong. L'exploitation rencontre des problèmes d'alimentation en eau, surtout en période estivale. Les problèmes sont liés au fait que le Mas Saint-Germain est une des dernières exploitations à recevoir l'eau de la roubine, son niveau est donc parfois trop faible pour alimenter le mas correctement. Les problèmes proviennent aussi du fait que les débits entrant dans l'exploitation ne sont pas connus.

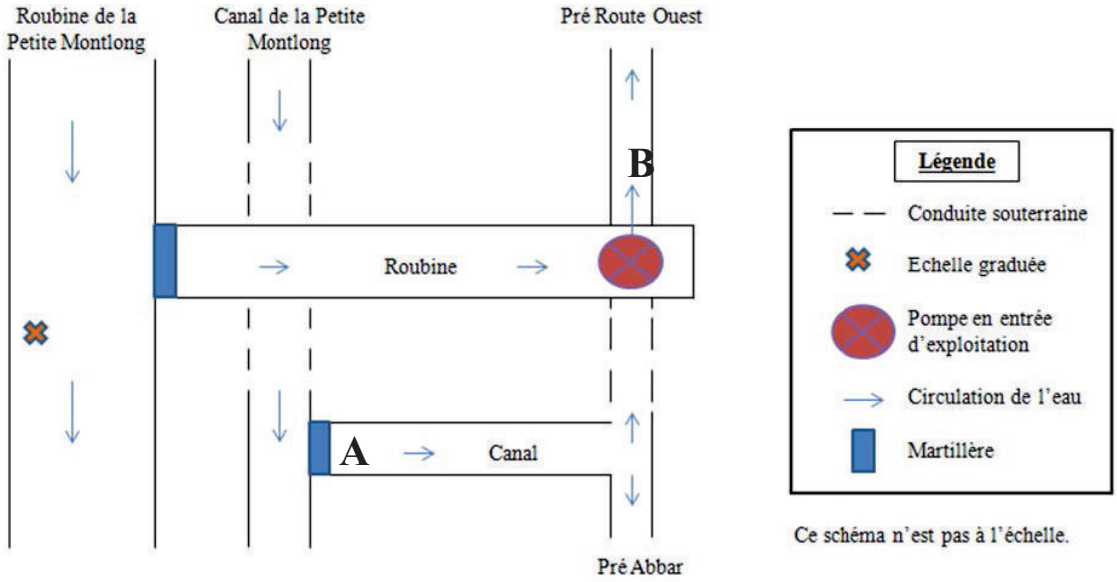


Figure 1. *Schéma du système d'alimentation en eau de l'exploitation*

2. Mesure des débits en entrée de l'exploitation

Pour quantifier les débits, nous avons utilisé un courantomètre. Cet appareil permet de mesurer la vitesse du courant. Nous avons appliqué la méthode des deux points qui consiste à mesurer la vitesse du courant en deux points de plusieurs verticales de la section mouillée du canal. On divise ainsi la section en plusieurs sections élémentaires dont on estime un débit moyen. Pour obtenir le débit total, on somme ces débits moyens.

Le schéma suivant illustre la méthode de mesure utilisée :

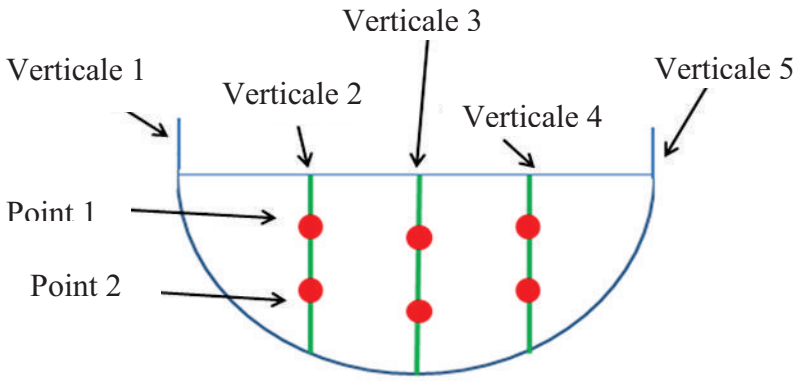


Figure 2. *Schématisation de l'emplacement des points de mesure de vitesse du courant.*

Nous avons tout d'abord tenté de vérifier les droits d'eau pour le canal en mesurant la vitesse au niveau du point d'entrée du canal dans l'exploitation (*Point A sur la figure 1*). Les valeurs de vitesses mesurées se sont alors révélées incohérentes. Nous en avons déduit que le débit que nous tentions de mesurer était trop faible et l'appareil de mesure pas suffisamment sensible pour pouvoir le déterminer.

Nous avons ensuite mesuré le débit en sortie de la pompe qui se situe à l'entrée de l'exploitation, sur une section dégagée et non endommagée. Le point de mesure se situe à environ 20 mètres de la pompe (*Point B sur la figure 1*). En utilisant la méthode présentée précédemment, nous avons obtenu les résultats présentés dans le tableau ci-dessous.

Verticale	**Distance y (m)**	**Profondeur totale (m)**		**Point 1**	**Point 2**	**Vitesse moyenne (m/s)**	**Débit unitaire (m3/s)**	**Largeur entre les verticales (m)**	**Surface entre les verticales (m2)**	**Débit (L/s)**
1	0	0,2	**hauteur (m)**	0,04	0,16	0 ,00	0,00			
			vitesse (m/s)	0	0			0,28	0,0658	15,88
2	0,28	0,27	**hauteur (m)**	0,54	0,22	0,42	0,11			
			vitesse (m/s)	0,41	0,43			0,28	0,0868	39,64
3	0,56	0,35	**hauteur (m)**	0,7	0,28	0,49	0,17			
			vitesse (m/s)	0,48	0,49			0,28	0,0812	36,97
4	0,84	0,23	**hauteur (m)**	0,46	0,18	0,41	0,094			
			vitesse (m/s)	0,29	0,53			0,29	0,0580	13,67
5	1,13	0,17	**hauteur (m)**	0,03	0,14	0,00	0,00			
			vitesse (m/s)	0	0					
									Qtot (L/s)	106,16

On trouve donc un débit de 106 L/s avec une marge d'erreur d'environ 5 L/s. C'est pourquoi nous avons choisi d'estimer ce débit à 100 L/s.

D. Conduite actuelle de l'irrigation

L'exploitation possède différents types de culture :

- Des cultures de riz long, de variété *Arélate* et *Sélénio*
- Des cultures de blé dur de variété *Dactère*
- Des prairies et des prés, composés d'un mélange de graminées naturelles

A l'heure actuelle, seules les parcelles Pré Abbar, Pré Route Ouest, Pré Route Est, Pré de Devant sont irriguées. Les volumes d'eau apportés par irrigation gravitaire ne sont pas connus. De plus, l'efficience du transport de l'eau est à mettre en relation avec l'état des infrastructures présenté précédemment. Afin de connaître les doses apportées aux cultures et de quantifier les pertes lors du trajet, nous avons essayé de quantifier le débit au niveau d'une parcelle type : Pré de Devant. Le courantomètre utilisé n'étant pas suffisamment sensible, nous n'avons pas pu mesurer la vitesse du courant au niveau de cette parcelle.

Par ailleurs, l'exploitante souhaiterait irriguer d'autres parcelles (Ere, Pasquiers Ouest, Pasquiers Est, Bouvaù, Anciennes Vignes, Romieux, Villeneuve Nord, Villeneuve Sud et Vignes) qui ne le sont pas actuellement. Des infrastructures, permettant d'apporter l'eau à certaines de ces parcelles, existent déjà sur l'exploitation, mais ne sont plus entretenues. L'irrigation des autres parcelles nécessite de nouveaux aménagements. Ce point sera développé dans la partie **IV.A.** de ce rapport.

E. Réalisation d'une carte numérique de l'exploitation

1. Intérêts pour l'exploitation de disposer d'une carte numérique

La carte actuelle de l'exploitation nous a été fournie par notre commanditaire (Annexe 1). Elle a été réalisée à la main il y a plusieurs années et présente uniquement la disposition des parcelles les unes par rapport aux autres ainsi que la localisation du Mas Saint-Germain par rapport aux exploitations voisines. Bien que relativement précise, cette carte ne possède aucune information concernant le réseau hydraulique de l'exploitation ou les caractéristiques des parcelles. Compte tenu de la nature de notre projet ainsi que de la volonté de modernisation future de l'exploitation, nous avons proposé la réalisation d'une carte évolutive permettant de la remplacer.

Les intérêts pour l'exploitation de posséder une carte numérique sont multiples :

- Permettre une meilleure représentation de l'exploitation sur les supports informatiques (présentation sur le site Internet de l'exploitation par exemple).
- Faciliter le travail des exploitants en leur permettant de gérer informatiquement l'activité de l'exploitation (planifier les travaux à réaliser, centraliser les données relatives aux parcelles ou au réseau hydraulique,…) et ses évolutions.
- Mieux valoriser l'exploitation auprès des entreprises auxquelles le Mas Saint-Germain peut être amené à faire appel pour la réalisation de travaux. La carte permet ainsi une meilleure diffusion de l'image du mas aux différents professionnels qui interagissent avec l'exploitation. Cela permet d'améliorer la visibilité des projets mis en place.

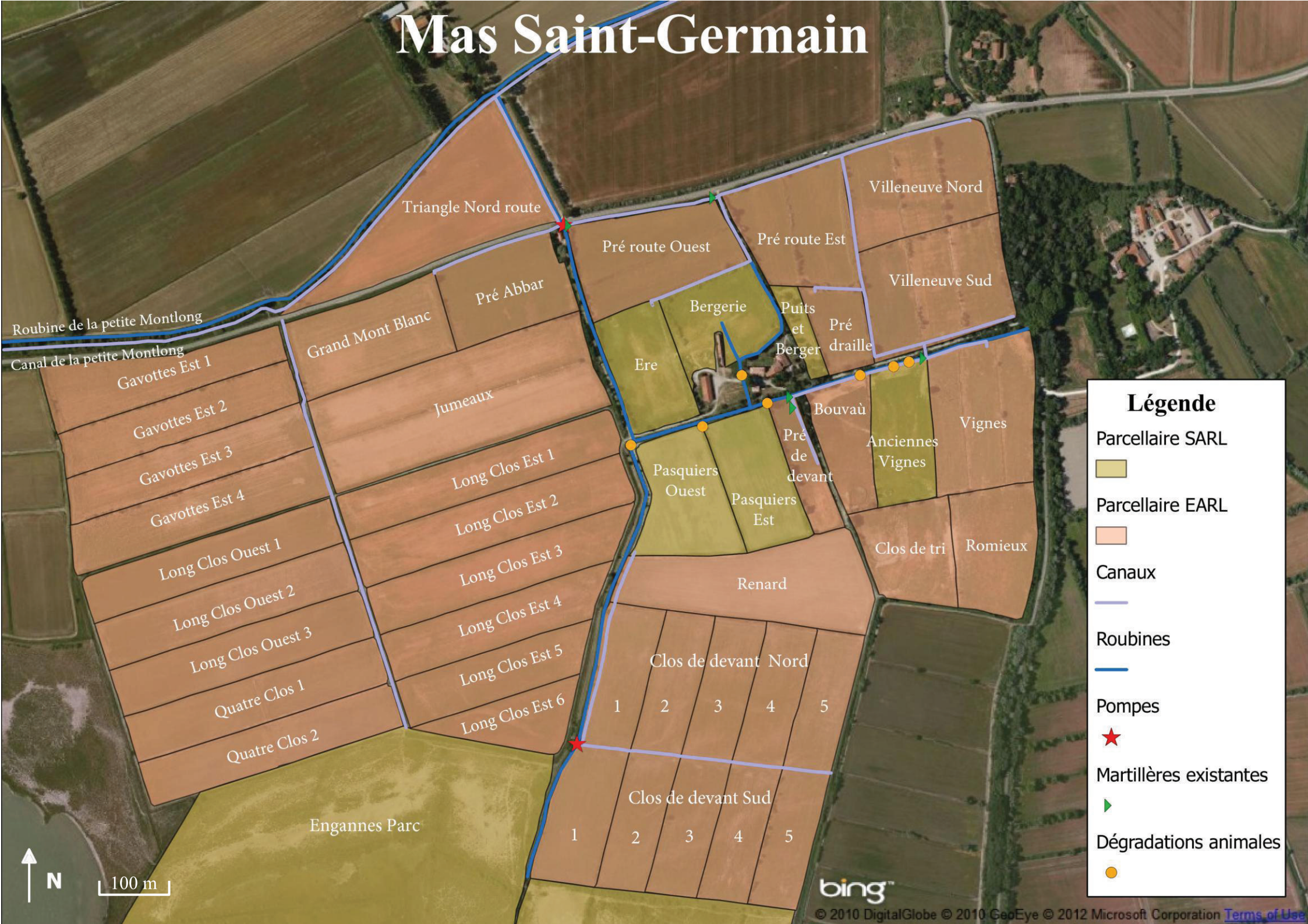
2. Choix du logiciel de cartographie utilisé

Afin de réaliser une carte numérique de l'exploitation qui puisse répondre au mieux aux différents points énoncés précédemment, nous avons choisi d'utiliser un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) plutôt qu'un logiciel directement destiné à la gestion de parcelles par les agriculteurs comme par exemple Mes Parcelles©. En effet, les logiciels SIG permettent non seulement de réaliser une carte détaillée de l'exploitation, mais aussi d'y ajouter des attributs de différents types qui nous sont utiles pour représenter au mieux le Mas Saint-Germain : réseau hydraulique, points d'eau ou tout autre point particulier présent sur l'exploitation. De plus, les logiciels SIG permettent d'enregistrer la carte réalisée sous un format lisible par n'importe quel ordinateur, même ceux qui ne possèdent pas le logiciel, ce qui n'est pas le cas pour un outil tel que Mes Parcelles© par exemple.

Nous avons choisi de réaliser notre carte en utilisant QuantumGIS (QGIS), un logiciel gratuit et libre d'utilisation, ce qui nous permet de le mettre à disposition de la commanditaire sans que cela ne représente de coût particulier. Ce logiciel permet de manier un grand nombre d'outils cartographiques, et notamment d'utiliser les photographies aériennes Bing Aerial (2010). Nous détaillons dans l'annexe 4 le mode d'emploi de ceux qui ont servis à la création de la carte, de façon à ce qu'elle puisse être mise à jour au fil des évolutions de l'exploitation. Toutefois, en tant que logiciel libre, QGIS peut être sujet à des modifications importantes lors de ses différentes mises à jour. Pour assurer la compatibilité des fichiers fournis, il est donc important de conserver la version qui a été utilisée pour leur création, soit la version « 1.8.0 Lisboa ». Cette version du logiciel est mise à disposition de l'exploitante, ainsi qu'un ensemble de fichiers indispensables au fonctionnement de la carte réalisée. Ces fichiers pourront être modifiés par la suite pour faire évoluer la carte de l'exploitation.

3. Présentation de la carte réalisée

La carte réalisée présente l'état des lieux de l'exploitation : le parcellaire est mis en évidence, ainsi que le réseau hydraulique constitué principalement de roubines et de canaux. La carte permet aussi de visualiser les points caractéristiques du réseau hydraulique de l'exploitation tels que les pompes, les martillères, ainsi que les points d'eau dégradés par les animaux. Elle peut être utilisée telle quelle dans son format JPG ou PDF, où elle correspond alors simplement à une image, pour présenter l'exploitation à des entreprises, des clients, ou sur le site Internet de l'exploitation.


Mas Saint-Germain
Triangle Nord route
Roubine de la petite Montlong
Canal de la petite Montlong
Pré route Ouest
Pré route Est
Villeneuve Nord
Villeneuve Sud
Bergerie
Puits et Berger
Pré draille
Ere
Pré Abbar
Grand Mont Blanc
Jumeaux
Gavottes Est 1
Gavottes Est 2
Gavottes Est 3
Gavottes Est 4
Long Clos Ouest 1
Long Clos Ouest 2
Long Clos Ouest 3
Quatre Clos 1
Quatre Clos 2
Long Clos Est 1
Long Clos Est 2
Long Clos Est 3
Long Clos Est 4
Long Clos Est 5
Long Clos Est 6
Pasquiers Ouest
Pasquiers Est
Pré de devant
Bouvaù
Anciennes Vignes
Vignes
Clos de tri
Romieux
Renard
Clos de devant Nord
1
2
3
4
5
Clos de devant Sud
1
2
3
4
5
Engannes Parc
Légende
Parcellaire SARL
Parcellaire EARL
Canaux
Roubines
Pompes
Martillères existantes
Dégradations animales
N
100 m
bing
© 2010 DigitalGlobe © 2010 GeoEye © 2012 Microsoft Corporation Terms of Use

Un certain nombre d'informations sont directement lisibles sur cette carte. Toutefois, d'autres informations ont été récoltées puis liées à la carte, et peuvent être utilisées lorsque cette dernière est ouverte à partir du logiciel QuantumGIS (méthode détaillée en annexe 4). La carte interactive actuelle donne ainsi accès à différentes données d'intérêt pour la gestion de l'exploitation.

a. Informations relatives au parcellaire

Sous QGIS, chaque parcelle, qu'elle appartienne à la SARL ou à l'EARL, est reliée à un complément d'informations la concernant. Ces informations sont les suivantes :

- un numéro identifiant chaque parcelle
- le nom de la parcelle associée
- la surface de la parcelle en hectares
- le type de culture
- la date de dernière irrigation
- la date de prochaine irrigation prévue

Ces données ont été collectées à partir du parcellaire détaillé qui nous a été fourni par Mme Vadon. Toutefois, les informations relatives aux trois dernières rubriques n'ont pas été remplies. Ces rubriques seront donc à remplir directement par l'exploitante, lorsque les données seront connues.

b. Informations relatives au réseau hydraulique

Les canaux et roubines permettent, eux, l'accès aux informations suivantes visant à faciliter leur gestion par l'exploitante :

- un numéro identifiant chaque tronçon du réseau hydraulique
- la forme du tronçon associé
- la largeur du tronçon, en mètres
- la longueur du tronçon, en mètres
- la hauteur (ou profondeur) du tronçon, en mètres
- le type de structure du tronçon (béton, terre, canalisation…)
- l'état d'encombrement du tronçon
- si le tronçon est engagé dans une mesure d'aide
- la date des derniers travaux réalisés
- la nature des derniers travaux réalisés
- la date prévue des prochains travaux à réaliser
- la nature des prochains travaux à réaliser
- le coût prévisionnel des prochains travaux à réaliser.

Les informations correspondant aux six dernières rubriques n'ont pas été collectées. La commanditaire pourra compléter ces rubriques en temps voulu, pour permettre de faciliter encore la gestion de l'exploitation.

c. Informations relatives aux martillères visibles sur l'exploitation

Des informations concernant les différentes martillères présentes sur l'exploitation ont aussi été collectées, et sont accessibles sous QGIS :

- un numéro identifiant chaque martillère
- la hauteur de la martillère en mètres
- la largeur de la martillère en mètres
- l'état d'entretien de la martillère

d. Informations relatives aux dégradations animales

Les dégradations animales, visibles sur l'exploitation, correspondent à un ensemble de dégradations des berges créé par les animaux qui descendent dans les roubines pour s'abreuver ou piétinent le réseau hydraulique. Diverses informations ont été collectées en relation avec ces dégradations :

- un numéro identifiant chaque dégradation
- la largeur de la dégradation en mètres
- la longueur de la dégradation en mètres

III. Etude du système d'alimentation en eau de l'exploitation

A. Analyse du fonctionnement

Le débit d'alimentation de l'exploitation est contrôlé par la pompe (*Point C* sur la figure 3). Selon Mme Vadon, le pompage ne pose pas de problème particulier en début de saison. Mais il arrive en revanche qu'au cours de la saison l'alimentation de la roubine soit insuffisante pour permettre le fonctionnement correct de la pompe en continu.

On peut formuler les hypothèses suivantes :

- La hauteur de végétation entraîne de fortes pertes de charge dans la roubine, ainsi la différence de charge entre l'amont de la roubine et la pompe est insuffisante pour faire passer un débit constant de 100 L/s.
- Le niveau d'eau dans la Montlong est insuffisant donc la roubine est mal alimentée.
- L'ouverture de la martillère est trop faible.

De plus, nous avons mesuré le débit de fonctionnement de la pompe, égal à 100 L/s. Ce qui correspond au débit entrant théorique. Toutefois, l'exploitante rencontre des phénomènes de vidange de la roubine lors du fonctionnement de sa pompe. Nous avons réalisé un modèle hydraulique pour analyser le fonctionnement du système d'alimentation en régime continu pour un débit de 100 L/s, débit de fonctionnement réel de la pompe.

B. Mise en place d'un modèle hydraulique pour comprendre les problèmes liés à l'alimentation en eau de l'exploitation

Nous devons chercher les conditions nécessaires pour que le fonctionnement en régime permanent à 100 L/s soit possible en continu (fonctionnement de la pompe sans phénomène de vidange de la roubine). Pour cela, nous déterminons les hauteurs d'eau minimales dans la roubine d'entrée et dans celle de la petite Montlong. Dans ce modèle, les dimensions utilisées sont celles des installations aux points suivants :

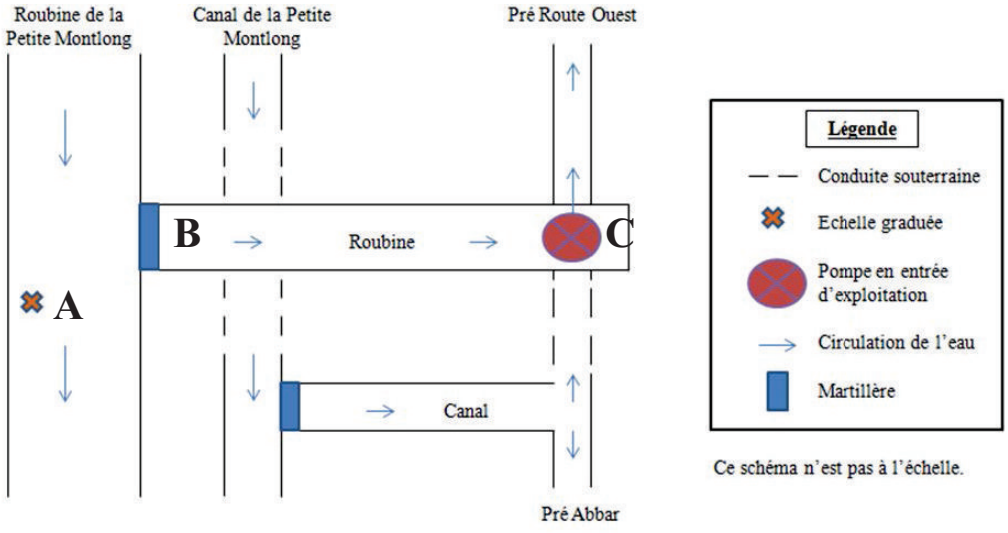


Figure 3. *Schéma du système d'alimentation en eau de l'exploitation*

- Point A : Largeur = 5 m ; Profondeur = 3 m
- Point B : Largeur = 2,5 m ; Profondeur = 3 m
- Point C : Largeur = 2,5 m ; Profondeur = 3 m

Le niveau minimal à la pompe (*Point C*) est imposé par la hauteur de la crépine (hauteur d'aspiration). Ici, nous considérons Hcrépine = 0,20 m.

Le niveau minimal après la martillère (*Point B*) dépend de l'encombrement de la roubine. Lorsque la végétation va se développer, la rugosité va augmenter et le niveau minimal de l'eau va également augmenter. Nous effectuerons alors nos calculs en considérant deux valeurs de coefficient de Strickler représentant la rugosité : K = 10 $m^{1/3}/s$ pour une situation dans laquelle la roubine est très encombrée et K = 35 $m^{1/3}/s$ dans le cas où la roubine est dégagée.

Le niveau minimal dans la Montlong dépend de l'ouverture de la martillère (*Point A*). Si celle-ci est peu ouverte, le niveau dans la petite Montlong devra être beaucoup plus élevé que le niveau au *point B*. Nous proposons une table de correspondance (Annexe 11) entre la hauteur d'eau en amont de la martillère et son ouverture nécessaire pour faire passer un débit constant de 100 L/s. Cette table utilise la loi de vanne standard :

$$W = \frac{Q}{L * Cc * \sqrt{2*g*(Hr-Hav)}}$$

Avec W l'ouverture de la martillère (en mètres), Q le débit (en m^3/s), L la largeur de la vanne (en mètres), Cc le coefficient de contraction (0,6), g la constante gravitationnelle (9,81 m/s^2), Hr la hauteur d'eau amont (en mètres), et Hav (en mètres) la hauteur d'eau en aval de la martillère (Point B) obtenue à l'aide du logiciel Canal 21 (logiciel de calcul hydraulique développé par L'IRSTEA et mis à disposition de Montpellier SupAgro).

Nous avons effectué les simulations avec les paramètres suivants :

- K = 35 $m^{1/3}/s$ (début de saison) et K = 10 $m^{1/3}/s$ (fin de saison)
- Q = 100 L/s.

Dans notre cas, l'écoulement est fluvial et la ligne d'eau est complètement déterminée par le débit dans la roubine et le niveau aval.

Le tableau suivant donne alors le niveau d'eau minimal au point A pour assurer le respect des droits d'eau de l'exploitation, en fonction du coefficient de Strickler :

	K = 10 (fin de saison)	K = 35 (début de saison)
Q = 100 L/s	Z_{Amin} = 0,7 m	Z_{Amin} = 0,5 m

Si le niveau lu sur l'échelle est inférieur à ces valeurs, les droits d'eau ne pourront être respectés. L'effet de la végétation (donné par le facteur K) sera progressif au cours de la saison et toutes les valeurs pour Z_{Amin} sont possibles entre les deux extrêmes calculés.

<u>On peut alors fournir les recommandations suivantes :</u>

- Vérifier le niveau d'eau dans la roubine de la petite Montlong avant d'entamer le pompage. S'il s'avère être trop souvent insuffisant, il est nécessaire d'augmenter la hauteur d'eau en plaçant un seuil. Si occasionnellement, il est inférieur au niveau minimal, il peut s'avérer nécessaire de couper la végétation dans la roubine d'entrée pour revenir à un état de début de saison.
- S'assurer que la martillère est suffisamment ouverte (un tableau de correspondances entre la hauteur d'eau lue sur l'échelle et le nombre de tours de manivelle à effectuer pour faire entrer 100 L/s est donné en annexe 11).

On note aussi que pour que le niveau d'eau mesuré à l'échelle (*Point C*) dans la roubine de la petite Montlong augmente, il est nécessaire que l'eau atteigne le Mas d'Agon, situé à 10,2 km de la station de pompage. Il faudrait donc au minimum un volume de 20 400 m^3 dans la petite Montlong pour que Mme Vadon puisse faire fonctionner sa pompe. Cette valeur est à mettre en relation avec le débit de pompage de la station et le volume prélevé par les autres exploitations pour évaluer le temps minimal entre la mise en marche des pompes et un possible prélèvement par le Mas Saint-Germain.

C. Etude du temps de remplissage de la roubine d'entrée sur l'exploitation

Pour pouvoir pomper l'eau de la roubine d'entrée afin d'alimenter le réseau de canaux de l'exploitation, il faut que le volume d'eau qu'elle contient soit supérieur à un volume critique. En dessous de ce volume, la pompe ne pourra pas fonctionner et il faudra attendre de remplir à nouveau la roubine pour pouvoir pomper. Ce volume critique est défini notamment par le débit de la pompe permettant d'élever l'eau sur l'exploitation, débit que nous avons mesuré à 100 L/s.

Grâce à Canal 21, on peut estimer le volume initial et le volume minimal de pompage. Les hypothèses sont les mêmes que précédemment concernant les dimensions de la roubine. En faisant l'hypothèse que la roubine se remplit jusqu'à une hauteur d'eau de 50 cm (d'après nos observations), on obtient un volume total d'environ **1930 m^3**. Le temps de remplissage de la roubine pour un débit de 100 L/s est alors d'environ **5,5 heures.** Si on considère un coefficient de Strickler égal à 35 et une crépine à 20 cm de hauteur, le volume minimal dans la roubine est de **742 m3**. Ainsi pour un débit de pompage de 100 L/s, on peut pomper pendant environ **3 heures**.

Le coefficient de Strickler influence la durée de pompage maximale mais influence très peu la durée de remplissage. Si la circulation est fortement gênée (K=15) la durée de pompage peut être réduite d'une heure (Annexe 9). Il est donc nécessaire d'entretenir régulièrement la roubine.

D'autres simulations nous ont permis de montrer que le **débit de pompage** est le paramètre le plus important de ce modèle. Bien que le débit de pompage actuellement utilisé soit de 100 L/s pour un débit de remplissage équivalent, on note qu'il est parfois nécessaire d'arrêter la pompe pour laisser le temps à la roubine de se remplir à nouveau. Cela ralentit considérablement le travail compte tenu du temps de remplissage calculé. Il pourrait donc être intéressant d'avoir un débit en entrée supérieur au débit de pompage. Deux solutions sont envisageables : placer une vanne pour brider la pompe ou bien augmenter le droit d'eau en entrée. Les résultats obtenus sont présentés dans les annexes 9 et 10.

Ce modèle est approximatif car il fait l'hypothèse que l'on pompe à partir de la roubine fermée (pompage sans entrée d'eau). Dans la réalité, la martillère d'entrée reste ouverte et un débit de 100 L/s entre en permanence dans la roubine lors du pompage. Ceci montre néanmoins que si le débit de pompage est plus important que le débit entrant, on observera un phénomène de vidange jusqu'au niveau critique de pompage. A l'inverse, en permettant un droit d'eau supérieur au débit de pompage, le système peut s'équilibrer et on pourra pomper sans phénomène de vidange.

D. Comparaison des coûts d'irrigation par le canal et la roubine de la petite Montlong

1. Fonctionnement actuel

Pour pouvoir bénéficier de l'eau du canal et de la roubine, les exploitants payent un droit d'eau en fonction de la surface à irriguer. A ces droits d'eau s'ajoutent le prix de l'adhésion aux associations qui gèrent le canal et la roubine et le prix de l'électricité pour faire fonctionner la pompe.

Le détail des éléments des factures d'eau et d'électricité est le suivant (en italique les dépenses variables, les autres lignes correspondant aux dépenses fixes) :

	Prix TTC (€)	**Surface déclarée (ha)**	**Mode de paiement**	**Prix/ha TTC (€)**
Alimentation bâti	148,09	/	Forfait	/
Correge Major	1030,46	/	Forfait	/
Rôle ordinaire petite Montlong	1695,81	/	Forfait pour surface de l'exploitation	10,02
Rôle exploitation canal riz	2858,94	15	Prix spécial irrigation riz, inchangeable	190,6
Rôle exploitation canal	*558,54*	*8,33*	*En fonction de la surface irriguée droit d'eau 1 L/s*	*67,05*
Rôle exploitation roubine	*89,38*	*4*	*En fonction de la surface irriguée droit d'eau 100 L/s*	*22,35*

***Figure 4**. Récapitulatif des factures d'eau d'irrigation de l'exploitation*

Dénomination	**Prix HT (€)**	**Mode de paiement**	**Prix/Kwh HT (€)**	**Prix par heure de fonctionnement (€)**
Abonnement	20,34	Forfait	/	/
Contribution tarifaire d'acheminement	4,79	Forfait	/	/
Consommation HN	*Variable*	*En fonction de la consommation*	*0,0652*	*0,6*
Taxes	*Variable*	*En fonction de la consommation*	*0,009*	*0,0003*

***Figure 5**. Récapitulatif des factures d'électricité liées à la pompe*

2. Comparaison des factures et stratégies d'irrigation

Afin de savoir s'il est préférable économiquement d'augmenter les droits d'eau du canal ou de la roubine, on compare le prix des deux méthodes. Pour cela, on considère le nombre d'irrigations prévues et la surface de chaque parcelle. Les prés sont irrigués deux fois par mois d'avril à septembre (soit 12 irrigations par an) et les prairies sont irriguées une fois par mois sur cette même période (6 irrigations par an).

Le prix de l'irrigation par le canal de toutes les parcelles est le suivant :

Parcelle à irriguer	Surface (ha)	Mode d'irrigation	Prix par an (€)
Ere	2	Canal	134,10
Pasquiers ouest	2,6	Canal	174,33
Pasquiers est	2,2	Canal	147,51
Bouvaù	1,6	Canal	107,28
Anciennes vignes	2,1	Canal	140,81
Vignes	3,4	Canal	227,97
Romieux	2,5	Canal	167,63
Villeneuve	6,4	Canal	429,12
Pré route ouest	3,3	Canal	221,27
Pré route est	3,7	Canal	248,09
Pré abbar	2,8	Canal	187,74
Pré de devant	1	Canal	67,05
		Total	**2252,88**

Le prix de l'irrigation par la roubine est le suivant :

Nom de la parcelle	Surface (ha)	Nombre irrigations	Temps de pompage (h)	Prix de l'eau par an (€)	Prix de l'électricité par an (€)	Total sur l'année (€)
Ere	2	6	77,58	44,69	44,9	89,61
Pasquiers ouest	2,6	6	151,09	58,10	87,5	145,57
Pasquiers est	2,2	6	86,61	49,16	50,1	99,30
Bouvaù	1,6	6	81,62	35,75	47,3	83,01
Anciennes vignes	2,1	6	93,13	46,92	53,9	100,84
Villeneuve Sud	3,3	6	129,36	73,74	74,9	148,63
Villeneuve Nord	3,1	6	108,08	69,27	62,6	131,85
Vignes	3,4	6	139,38	75,97	80,7	156,67
Romieux	2,5	6	125,45	55,86	72,6	128,50
Pré route ouest	3,3	12	167,31	73,74	96,9	170,61
Pré route est	3,7	12	122,32	82,68	70,8	153,50
Pré abbar	2,8	12	123,52	62,57	71,5	134,08
Pré de devant	1	12	78,72	22,35	45,6	67,92
					Total	**1610,09**

Nous avons évalué la consommation de la pompe à **8,8 kWh** pour une heure de fonctionnement, grâce aux indications de Mme Vadon. Les calculs précédents sont effectués en considérant les droits d'eau actuels de l'exploitation.

On peut calculer la puissance hydraulique de la pompe utilisée en utilisant la formule suivante : $\mathbf{P = \rho g Q H}$, où ρ représente la masse volumique de l'eau, g l'accélération de la pesanteur (égale à 9.81 m/s²), Q le débit de pompage (égal à 0,1 m^3/s), et H la perte de charge provoquée par

la pompe (ici, il s'agit de la dénivelée entre la crépine de pompage et la sortie d'eau, soit environ 2 mètres).

On obtient alors une puissance hydraulique de la pompe égale à **1,9 kW**. La consommation étant de 8,8 kW (correspondant à la puissance électrique), le rendement de la pompe est donc de 22%. Cette valeur correspond au rendement moyen de ce type de pompe, notre résultat est donc cohérent.

En considérant les droits d'eau actuels de l'exploitation, l'alimentation en eau par le canal est plus coûteuse que par la roubine. Toutefois, si la consommation de l'eau ou le choix d'alimentation venaient à changer, l'exploitation devrait renégocier ses droits d'eau auprès de l'ASA de la petite Montlong, coûts qui n'ont pas été pris en compte ici.

3. Factures d'eau prévisionelles

Nous envisageons trois scénarios possibles :

- **Pas de changement des droits d'eau**

Si on considère que le fonctionnement actuel permet d'assurer l'alimentation en eau de l'exploitation dans des délais suffisants, on peut conserver les même droits d'eau et préconiser simplement un suivi de l'ouverture de la martillère selon la hauteur d'eau dans la petite Montlong, ainsi qu'un entretien régulier des installations.

- **Augmentation des droits d'eau à la roubine**

Pour éviter les problèmes de vidange de la roubine, on a vu qu'il était préférable d'avoir une entrée d'eau à un débit supérieur à celui de la pompe d'élévation.

- **Augmentation des droits d'eau au canal**

Si on souhaite irriguer uniquement par le canal et ne plus pomper depuis la roubine, on considérera alors qu'un débit de 100 L/s au canal est suffisant.

Si on irrigue par le canal uniquement, aucune installation supplémentaire n'est nécessaire tandis que lorsqu'on utilise la roubine, on utilise également une pompe. Le coût d'amortissement et d'entretien de cette installation est donc à prendre en compte.

L'utilisation du canal pour irriguer semble préférable dans le cas de cultures nécessitant un apport d'eau important. En effet, le prix ne dépend pas du volume d'eau apporté tandis que lorsqu'on utilise la roubine, le prix de fonctionnement de la pompe est lié au volume à apporter. Le montant des factures futures nous est impossible à prévoir avec précision car nous ne connaissons pas le montant supplémentaire à payer pour augmenter les droits d'eau au canal ou à la roubine. Ces renseignements sont disponibles auprès des organismes gérant le canal et la roubine de la petite Montlong.

IV. Amélioration du système d'irrigation

A. Irrigation de nouvelles parcelles

A l'heure actuelle, seules les parcelles suivantes sont irriguées : Pré Abbar, Pré Route Ouest, Pré Route Est, Draille et Pré de Devant. Les exploitants souhaiteraient être en mesure d'irriguer les parcelles : Ere, Pasquiers Ouest, Pasquiers Est, Bouvaù, Anciennes Vignes, Romieux, Villeneuve Nord, Villeneuve Sud et Vignes. Après discussion avec les exploitants, il s'est avéré que des infrastructures déjà existantes (mais inutilisées) permettraient, après des travaux de rénovation, d'irriguer quelques unes de ces parcelles (Villeneuve Nord, Villeneuve Sud, Draille, Bouvaù, Anciennes Vignes et Vignes). Ces canaux en terre ont cependant besoin d'être rénovés par un curage et un débroussaillage. Un entretien régulier de tous les canaux est recommandé pour optimiser l'irrigation et limiter les pertes de débit. Mais pour les autres parcelles, il est nécessaire d'effectuer des travaux pour faire arriver l'eau aux parcelles et pouvoir les irriguer.

La carte fournie en annexe 7 illustre les solutions proposées ici, ainsi que les entrées d'eau au niveau des parcelles.

1. Irrigation des parcelles Pasquiers Est et Ouest

Pour irriguer ces parcelles, plusieurs solutions sont à envisager :

- prolonger le canal débouchant sur Pré de Devant.
- installer une conduite enterrée au niveau de Pré de Devant pour limiter les pertes de charge à ce niveau puis construire un canal aux niveaux des parcelles Pasquiers Est et Pasquiers Ouest.
- irriguer par la roubine grâce à une pompe mobile. L'irrigation se fait directement en sortie de pompe. (solution signalée par l'étoile blanche sur la figure 6)
- irriguer par la roubine grâce à une pompe remontant l'eau dans un canal à construire aux niveaux de ces parcelles (solution en pointillés rouges sur la figure 6). L'irrigation se fait par le canal.

Ces deux dernières solutions n'ont pas été retenues car l'achat d'une pompe d'une telle dimension (par exemple avec un point de fonctionnement situé à H=1,5 m et Q=50 $L.s^{-1}$) représenterait un investissement trop important compte tenu de son utilisation.

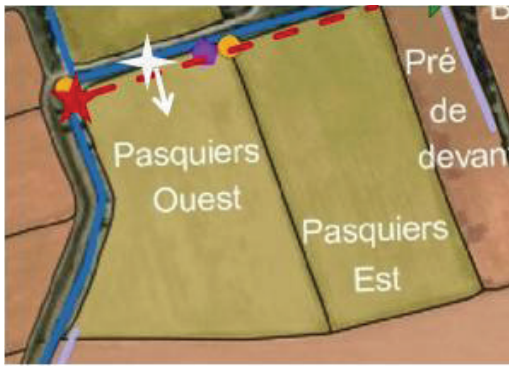


Figure 6. *Schématisation des solutions pour l'irrigation de la parcelle Pasquiers Ouest*

2. Irrigation de la parcelle Ere

Pour cette parcelle, les solutions à envisager sont du même type :

- prolonger le canal irriguant la parcelle Pré Route Ouest. (canal rouge en pointillés sur la figure 7)
- irriguer par la roubine grâce à une pompe remontant l'eau dans un canal à construire dans le prolongement de celui irriguant Pré Route Ouest.

Pour les mêmes raisons que précédemment, la deuxième solution ne sera pas retenue.

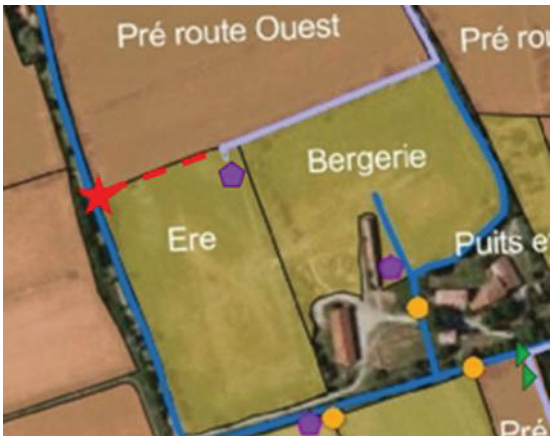


Figure 7. *Schématisation des solutions pour l'irrigation de la parcelle Ere*

3. Irrigation de la parcelle Romieux

Etant donné que la parcelle Romieux ne se situe pas à proximité d'un canal ou d'une roubine, les possibilités pour l'irriguer sont un peu différentes :

- prolonger le canal irriguant la parcelle Vignes par un canal la contournant par l'Est et le Sud (figurés losanges et ronds sur la figure 8).
- remplacer le canal de transport de l'eau de la première solution (figurés losanges sur la figure 8) par une conduite souterraine.
- construire un canal entre les parcelles Vignes et Anciennes Vignes (figurés en croix sur la figure 8) pour pouvoir approvisionner le point d'eau situé entre ces deux parcelles. Ce canal serait prolongé par un canal longeant le côté sud de la parcelle Vignes (figurés ronds sur la figure 8).
- remplacer le canal de transport de la solution précédente (figurés en croix sur la figure 8) par une conduite souterraine permettant d'alimenter le point d'eau. L'irrigation se fait toujours par le même canal.

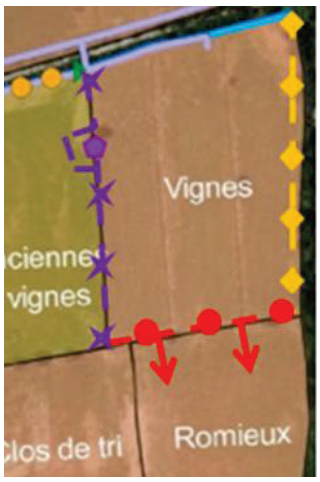


Figure 8. *Schématisation de l'irrigation de la parcelle Romieux*

D'une manière générale, les conduites enterrées permettent une meilleure circulation de l'eau, et diminuent donc le temps de pompage. De plus, ces dernières nécessitent un entretien moins important puisqu'elles s'encombrent moins facilement. Leur mise en place est toutefois plus coûteuse que pour un canal en terre.

4. Mise en place de martillères supplémentaires

L'irrigation de toutes ces parcelles nécessite également la mise en place de nouvelles martillères. Cela correspond au total à 14 martillères. La logique de placement de ces martillères étant globalement la même, nous n'allons la développer que pour quelques exemples.

L'irrigation de la parcelle Draille nécessite la mise en place de deux martillères. Fermer la martillère notée 1 sur la figure 9 permet de canaliser l'eau dans le canal séparant les parcelles Villeneuve Sud et Draille et irriguer ainsi au mieux la parcelle Villeneuve Sud. Pour optimiser l'irrigation de la parcelle Draille, on ferme la martillère notée 2 de la figure suivante.

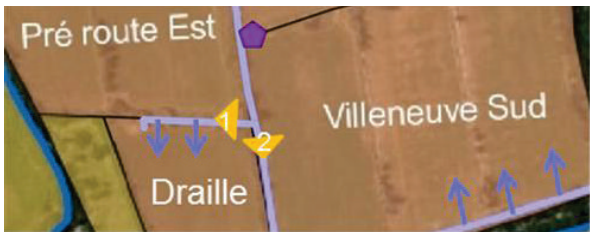


Figure 9*. Fonctionnement des martillères pour l'irrigation des parcelles Draille et Villeneuve Sud*

L'irrigation des parcelles Villeneuve Sud et Vignes entraîne la mise en place de trois martillères supplémentaires (présentées sur la figure suivante). La martillère notée 2 permet de canaliser l'eau dans le canal irriguant Villeneuve Sud. Pour irriguer au mieux la parcelle Vignes, il faut fermer les martillères notées 1 et 4. Pour irriguer la parcelle Anciennes Vignes, il est recommandé de fermer les martillères notées 1 et 3.

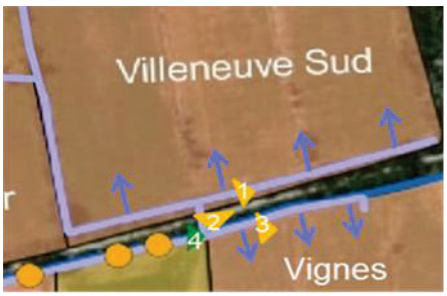


Figure 10. *Fonctionnement des martillères pour l'irrigation des parcelles Villeneuve Sud, Vignes, et Anciennes Vignes.*

Les martillères entre les parcelles Vignes et Anciennes Vignes ont pour but d'optimiser le temps de remplissage du point d'eau ainsi que le temps d'irrigation de la parcelle Romieux. Le point d'eau se remplit lorsque la martillère présente sur la figure de gauche est fermée. Dans l'autre cas, toute l'eau est redirigée vers Romieux.

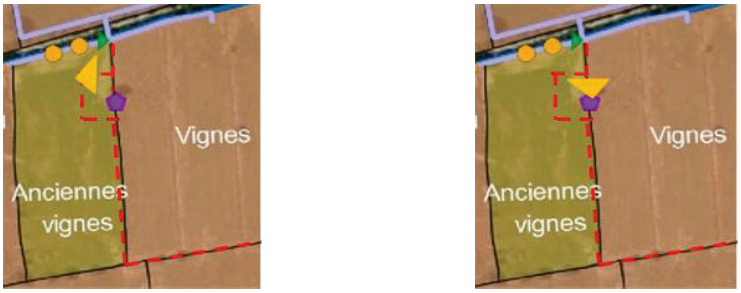


Figure 11. *Fonctionnement des martillères pour l'alimentation du point d'eau et de l'irrigation de la parcelle Romieux*

B. Quantification des besoins réels en eau des cultures

Un des objectifs de notre projet est de quantifier les besoins réels en eau des cultures présentes sur l'exploitation. En effet, à l'heure actuelle, l'irrigation se fait sans réelle connaissance ni des doses apportées, ni des doses nécessaires pour éviter une carence en eau ou un gaspillage d'eau.

L'irrigation des cultures de riz n'a pas été étudiée puisque le mode d'apport d'eau par submersion ne suscitait aucun problème selon notre commanditaire. Le blé n'étant pas irrigué, il n'a pas non plus été pris en compte dans notre analyse. L'étude des besoins en eau a donc été réalisée en considérant uniquement des prairies, irriguées une fois par mois, et des prés, irrigués tous les quinze jours.

1. Elaboration d'un bilan hydrique

Nous avons décidé de réaliser un bilan hydrique sur les différentes parcelles, afin de quantifier les besoins théoriques des cultures. Ce bilan est à la base d'un modèle d'irrigation fourni à l'exploitante sous la forme d'un fichier Excel dont l'utilisation est détaillée en annexe 5.

a. *Quantification de la réserve utile du sol*

Le sol de l'exploitation est essentiellement argileux, ce qui correspond à une capacité de rétention de 175 millimètres d'eau par mètre de sol[2]. Pour connaître la quantité d'eau réellement utilisable par les plantes, la profondeur des racines est prise en compte. Pour les graminées, cette profondeur est comprise entre 0,45 et 0,90 m[3]. Une valeur moyenne a été prise : **0,7 m.** La réserve utile théorique du sol de l'exploitation est donc de : 0,7*175 = **122.5 mm.**

b. *Equation du bilan hydrique*

Le bilan hydrique permet de suivre l'état de la réserve en eau du sol en tenant compte de la consommation des plantes et des apports par précipitations et irrigations. Il permet la quantification des besoins en eau afin d'éviter tout stress hydrique ou à l'inverse toute perte d'eau. Il est calculé selon la formule suivante :

$$\mathbf{ASW_j = ASW_{j-1} + P_j + I_j - ETR_j}$$

Avec ASW_j = réserve d'eau disponible dans le sol au jour j (mm)
ASW_{j-1} = réserve d'eau disponible dans le sol au jour j-1 (mm)
P_j = précipitations du jour j (mm)
I_j = irrigation du jour j (mm)
ETR_j = évapotranspiration réelle de la plante au jour j (mm)

i. Détermination de l'évapotranspiration réelle de la plante

L'évapotranspiration réelle représente la perte d'eau effective par transpiration au niveau des plantes et par évaporation au niveau du sol. Elle est calculée à l'aide la formule suivante :

$$\mathbf{ETR = Ks * Kc * ET_{réf}}$$

Avec $ET_{réf}$ = évapotranspiration de référence (mm)
Ks = coefficient de stress hydrique (sans unité)
Kc = coefficient cultural de la plante (ici, les graminées) (sans unité)

L'évapotranspiration de référence correspond à une évapotranspiration d'une surface de gazon dans des conditions hydriques idéales et dans des conditions climatiques données.

Plusieurs approches sont possibles pour la déterminer :

- Estimation à partir de formules empiriques (Blaney Criddle, Penman-Monteith…)
- Mesure à l'aide d'un évapotranspiromètre sur une culture de référence telle que le gazon

Des mesures sur le terrain ne sont possibles qu'avec des moyens expérimentaux importants impossibles à mettre en œuvre dans le cadre de cette étude. De plus, la formule de Penman-Monteith nécessitant certains paramètres non disponibles, nous avons choisi d'estimer la valeur de l'$ET_{réf}$ à partir d'une autre formule empirique. Pour cela, nous avons utilisé la formule de *Blaney Criddle* :

$$\mathbf{ET_{réf} = p*(0,46*Ta_j + 8,13)}$$

Avec p =100*durée du jour / (durée du jour annuelle moyenne*365)
Ta_j = température moyenne du jour j

Cette équation est utilisée pour sa simplicité de mise en place. En effet, seules la durée du jour et la température sont utilisées. Mais d'autres paramètres météorologiques ayant une influence sur l'évapotranspiration comme l'humidité ou le vent ne sont pas pris en compte par cette formule. Nous avons alors voulu avoir un ordre d'idée de l'approximation faite en utilisant la formule de

[2] Chambre d'agriculture de Picardie, le bilan hydrique pour optimiser votre irrigation, Juin 2010

[3] Agriréseau, Marc F.Clément, 21 et 23 février 2005. *Adoption de méthodes alternatives de cultures de plantes fourragères pour réduire l'effet des variations climatiques*.

Blaney Criddle. Pour cela, nous avons comparé les valeurs d'$ET_{réf}$ obtenues par la formule de Blaney Criddle à celles obtenues grâce à la formule de Penman Monteith, formule faisant office de référence à l'heure actuelle. Ces valeurs ont été obtenues à partir des données météorologiques (humidité, rayonnement, vent, température) de la station de Nîmes pour les années 1979 à 1999. (Ces valeurs ont été mises à disposition de SupAgro par Météo France pour des applications pédagogiques.)

A partir des valeurs des températures extrémales recensées chaque jour par l'organisme infoclimat, nous avons calculé les valeurs journalières d'$ET_{réf}$ à l'aide de la formule de Blaney Criddle pour une année de pluviométrie moyenne (1984), une année sèche (1980) et une année « humide » (1996). Des moyennes mensuelles ont ensuite été calculées. Les résultats obtenus sont représentés ci dessous.

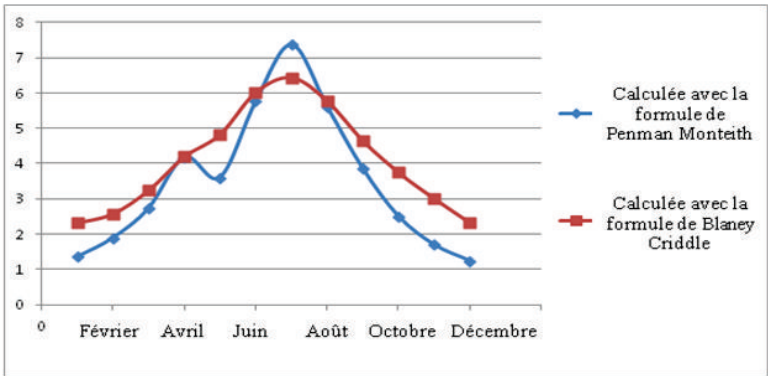


Figure 12. *Evapotranspiration (en mm) calculée avec les formules de Blaney Criddle et Penman-Monteith pour une année de pluviométrie moyenne (1984)*

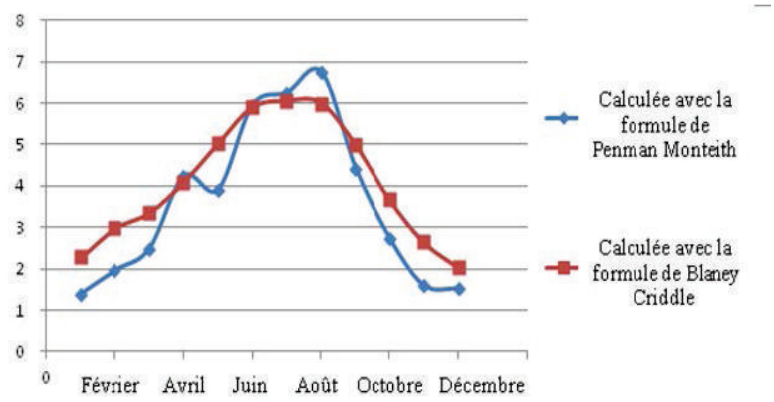


Figure 13. *Evapotranspiration (en mm) calculée avec les formules de Blaney Criddle et Penman-Monteith pour une année sèche (1980)*

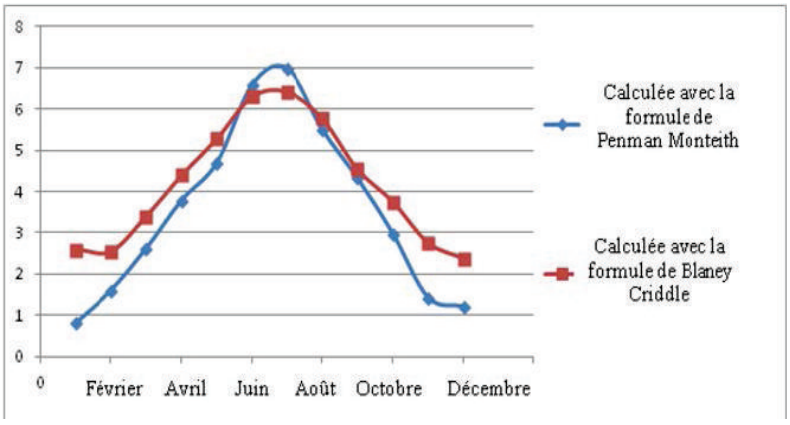


Figure 14. *Evapotranspiration (en mm) calculée avec les formules de Blaney Criddle et Penman-Monteith pour une année humide (1996)*

On remarque que quelque soit la pluviométrie, la formule de Blaney Criddle surestime la valeur de l'$ET_{réf}$ de septembre à fin mai. A l'inverse, elle la sous-estime pendant la période estivale.

Pour avoir un ordre d'idée de cette sous-estimation, nous avons comparé les volumes d'irrigation obtenus avec les valeurs d'$ET_{réf}$ calculées grâce à la formule de Blaney Criddle et ceux obtenus avec les valeurs d'$ET_{réf}$ calculées grâce à la formule de Penman Monteith pour une année de pluviométrie moyenne. Pendant la période estivale, la plus grande différence de volumes obtenue représente 15% de la valeur calculée à l'aide de la formule de Penman Monteith. Nous n'avons pas jugé utile d'essayer de corriger les valeurs obtenues par la formule de Blaney Criddle car les données utilisées étant celles de Nîmes et non de l'exploitation, un réajustement n'aurait pas été très pertinent. Néanmoins avec un pourcentage de différence comme celui-ci, la formule de Blaney Criddle donne un bon ordre d'idée des doses d'irrigation à apporter aux cultures.

ii. Détermination du coefficient cultural Kc

Ce coefficient dépend de l'espèce présente sur la parcelle et de son stade physiologique. Pour la culture de référence, autrement dit le gazon, ce coefficient est égal à 1. Pour les autres cultures, ce coefficient rend compte des différences de ces cultures avec le gazon en termes de hauteur, de résistance stomatique, d'albédo, etc. Pour les cultures considérées (prairies et prés composés de graminées), on peut émettre l'hypothèse que le coefficient cultural est égal à 1.

iii. Détermination du coefficient de stress Ks

Ce coefficient permet de prendre en compte l'effet du stress hydrique sur l'évapotranspiration de la plante. Le coefficient est égal à 1 lorsqu'il n'y a aucun stress hydrique. En-dessous d'une valeur seuil de remplissage de la réserve utile, ce coefficient diminue. Ceci illustre le fait que la plante soumise à un stress hydrique possède une évapotranspiration réelle plus faible que l'évapotranspiration de référence. Dans le cas d'une graminée, ce seuil est égal à 40% de la réserve utile, ce qui représente 49 mm de réserve utile dans le sol[4]. En dessous de cette valeur, la valeur de Ks du jour j est égale à *: Réserve utile du jour j* 0.02*, 0.02 représentant la pente de la courbe.

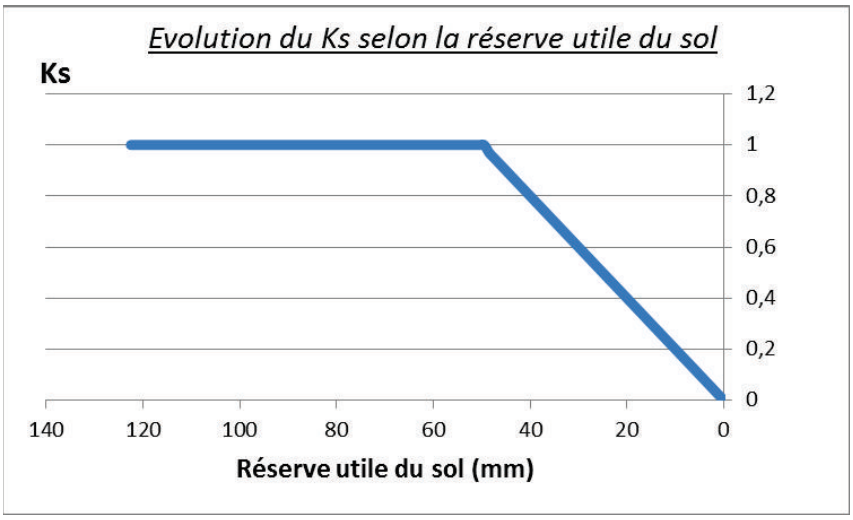


Figure 15. *Evolution du coefficient de stress selon la réserve utile du sol*

iv. Calcul de la dose d'irrigation

D'après l'équation du bilan hydrique on obtient le volume d'irrigation nécessaire pour le jour j égal à :

$$\mathbf{I_j = ASW_j - ASW_{j-1} + P_j + ETR_j}$$

[4] V.O. Sadras, S.P. Milroy, 1996. Field crop research 47 253-266. *Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange : A review.*

Cette relation permet de déterminer les volumes d'irrigation nécessaires pour chacune des parcelles.

v. Modalités d'utilisation du bilan hydrique

Dans notre modèle, il est nécessaire de réaliser une initialisation du remplissage de la réserve utile. En faisant la moyenne des $ET_{réf}$ mensuelles et la moyenne des précipitations mensuelles de 1979 à 1999 à Nîmes, on s'aperçoit qu'au mois d'octobre les précipitations sont très importantes et permettent de remplir la réserve utile. Jusqu'au mois de février, il y a toujours plus de précipitations que d'évapotranspiration donc la réserve utile ne se décharge pas au cours de cette période. On peut ainsi émettre l'hypothèse que la réserve utile est totalement remplie à partir du 1er mars. Le bilan hydrique est alors calculé à partir de cette date là car les évapotranspirations deviennent plus importantes que les précipitations, ce qui indique que la réserve utile commence à se décharger.

	$ET_{réf}$ (mm)	P (mm)
janvier	44,8	69,4
février	47,6	50,1
mars	99,3	41,6
avril	114,2	64,1
mai	145,4	51,4
juin	183,7	36,9
juillet	228,1	24,9
août	200,8	54,4
septembre	130,5	69,9
octobre	77,5	138
novembre	51,1	72,7
décembre	44,1	62,4

Figure 16. *Tableau récapitulatif des moyennes de pluviométrie et d'évapotranspiration mensuelles*

L'exploitante a la possibilité d'irriguer tous les jours, du 1er avril au 15 septembre. Les prés sont irrigués tous les 15 jours, et les prairies une fois par mois.

Dans notre modèle, il faut :

- Entrer les valeurs météorologiques : les températures et les précipitations
- Décider du type de culture souhaitée sur la parcelle : prairie, pré ou autre (blé ou riz)
- Choisir le planning d'irrigation pour le premier mois. A partir de ce dernier, un calendrier d'irrigation est mis en place. Le modèle calcule le volume d'eau à apporter suivant la surface de la parcelle, le type de culture présent et l'état hydrique du sol.

Le modèle fourni contient pour l'instant les valeurs météorologiques de l'année 2011 ainsi qu'un calendrier d'irrigation envisageable.

c. Limites de notre bilan hydrique

Le bilan réalisé a été testé avec les données météorologiques de l'année 2011. Le calcul du tour d'eau (détaillé en annexe 6) montre que la fréquence d'irrigation souhaitée par l'exploitante ne présente pas de préjudice pour la culture. En effet, la réserve utile du sol est toujours suffisante avec cette fréquence d'irrigation.

Bien que les hypothèses que nous avons émises ne remettent pas en cause les principaux résultats obtenus grâce à notre modèle, il est possible d'apporter quelques améliorations :

- La texture du sol a été considérée argileuse. Une analyse de sol en laboratoire permettrait de connaître la texture précise du sol.

- L'étang de Vaccarès, proche de l'exploitation, peut avoir des incidences sur l'évapotranspiration. Des mesures de l'ET_{ref} sur l'exploitation, à l'aide d'un évapotranspiromètre, permettraient de quantifier son influence.
- Les données climatiques proviennent de stations météorologiques proches de l'exploitation. Des mesures journalières de précipitations et de températures sur l'exploitation du Mas Saint-Germain permettraient de quantifier plus précisément les besoins en eau des cultures.

2. Quantification du temps d'irrigation

Afin d'optimiser les temps de pompage et d'éviter toute dépense d'électricité inutile, il faut quantifier le temps d'irrigation nécessaire pour chaque parcelle. Dans notre modèle, le temps d'irrigation correspond au temps de fonctionnement de la pompe. Il est composé du :

- temps de parcours de l'eau, de la pompe jusqu'à son arrivée sur la parcelle donnée.
- temps de remplissage de la portion de canal servant à irriguer la parcelle donnée. Il représente le temps nécessaire pour que l'eau déborde de la portion de canal considérée.
- temps de submersion correspondant au temps qu'il faut pour apporter le volume nécessaire à la parcelle.

Dans toute notre étude, nous considérons que le transport de l'eau a atteint le régime permanent.

a. Le temps de parcours

i. Présentation des calculs effectués

Avant d'arriver aux parcelles, l'eau passe par des canaux à surface libre. Ces canaux diffèrent :

- par leur matériau **:** les canaux sont en terre ou en béton.
- par leur géométrie et leurs dimensions : les canaux peuvent être de forme rectangulaire, semi-ellipsoïdale, trapézoïdale ou semi-circulaire. Leur largeur, leur hauteur ainsi que leur longueur sont variables.

L'irrigation par ces canaux occasionne des pertes d'eau le long du trajet, par infiltration et par évaporation. Nous n'avons pas pu les quantifier sur chaque type de canal et selon l'état d'encombrement. Nous avons donc actuellement choisi une valeur de 20 L/s/km[5].

Il est cependant possible d'améliorer notre modèle qui propose alors à l'utilisateur de calculer les pertes globales sur un parcours donné. Nous avons choisi le trajet d'irrigation de la parcelle *Anciennes Vignes* qui mesure 1 000 m. Le but est de mesurer la perte de débit entre la sortie de pompe et l'arrivée au niveau de cette parcelle. Le volume de la portion de canal en arrivée de la parcelle est connu grâce aux valeurs de section et de longueur.

Il faut alors :

- entrer la valeur du débit à la sortie de la pompe
- chronométrer le temps écoulé entre l'instant où l'eau atteint la martillère finale et le moment où l'eau déborde sur la parcelle irriguée.

Il est alors possible de déterminer le débit d'arrivée à la parcelle, équivalent à :

$$Q_{\text{arrivée de parcelle}} = Volume / temps\ chronométré$$

Les pertes, exprimées en L/s/km, sont alors égales à :

$$Pertes = (Q_{\text{sortie de pompe}} - Q_{\text{arrivée de parcelle}}) / Distance\ parcourue$$

[5] Rapport d'étude EAUCEA, *Plan d'optimisation de la gestion de l'eau sur le bassin versant du Chassezac, territoire des communes de Pied-de-Borne, Prévenchères, et Altier.* Janvier 2011.

Il est possible de chronométrer plusieurs fois dans la saison le temps de débordement de la portion de canal au niveau de la parcelle *Anciennes Vignes*. Cela permet de prendre en compte l'état d'encombrement des canaux et son impact sur les pertes le long du parcours d'irrigation.

Pour chaque parcelle, un trajet d'irrigation a été choisi. Il correspond soit au parcours d'irrigation actuel, soit aux trajets que nous avons établis pour les parcelles qui ne sont pas irriguées pour le moment. L'eau parcourt alors plusieurs portions de canaux. Sur chaque portion, le débit moyen a été calculé, en tenant compte des pertes :

- $Q_{sortie}\ i = Q_{entrée}\ i - (Pertes * (Li/1000))$
- $Q_{moyen}\ i = (Q_{entrée}\ i - Q_{sortie}\ i)/2$

Avec $Q_{entrée}$ i = débit de l'eau en entrée de la portion i (en m^3/s)
Q_{sortie} i = débit de l'eau en sortie de la portion i (en m^3/s)
Q_{moyen} i = débit moyen de l'eau sur la portion i (en m^3/s)
L_i = longueur de la portion i (en mètres)

Le temps de parcours sur la portion i est alors égal à :

$$\textbf{Temps}_{\textbf{parcours}}\ \textbf{i} = (S_i * L_i) / Q_{moyen}\ \textbf{i}$$

Avec S_i = section mouillée de la portion i (en m^2)

ii. Présentation du modèle obtenu

Pour ce modèle (***Modèle irrigation.xls***), nous avons considéré que la section mouillée représentait 50% de la section de chaque portion de canal. Cette hypothèse se base sur nos observations de terrain. Ce modèle permet à l'utilisateur d'apporter des modifications sur les canaux. En effet, lors de l'état des lieux du système hydraulique de l'exploitation, des portions de canaux n'ont pas été accessibles, du fait de leur encombrement ou de la présence de clôtures, et il n'a donc pas été possible de réaliser des mesures précises. Nous avons alors considéré des valeurs approximatives pour ces portions. Le modèle permet d'améliorer ceci en permettant à l'utilisateur de modifier la géométrie et/ou les dimensions des canaux. Tous les travaux entrepris à la suite de notre projet peuvent donc également être pris en considération dans notre modèle en modifiant les caractéristiques des ouvrages. De plus, nous avons préconisé la construction de canaux ou de conduites souterraines sur certains trajets d'irrigation. Nous avons choisi les mesures de ces ouvrages mais l'utilisateur peut décider à tout moment de les modifier.

b. Le temps de débordement

Pour irriguer la parcelle, la portion de canal en arrivée de parcelle doit être totalement remplie. Ce temps de débordement dépend de la section et de la longueur de la portion et du débit arrivant au niveau de la parcelle.

$$\textbf{Temps}_{\textbf{débordement}} = (S * L) / Q_f$$

Avec Q_f = débit arrivant au niveau de la parcelle (m^3/s)
S= section du canal en arrivée de la parcelle (m^2)
L=longueur du canal en arrivée de la parcelle (m)

Le débit final est calculé selon la méthode présentée précédemment qui prend en compte les pertes lors du temps de parcours.

c. Le temps de submersion

A l'aide du modèle élaboré précédemment, le volume nécessaire au type de culture présent sur la parcelle a été quantifié, en fonction des conditions climatiques. Des pertes d'eau, dues au ruissellement, sont néanmoins à envisager. En effet, l'efficience de l'irrigation gravitaire varie entre 20 à 80 %[6] selon l'homogénéité du terrain et la pente. Dans notre cas, un taux d'efficience de 50 % a été adopté.

[6] Anne Mérot et al, 2011. Gestion de l'eau en Crau : Comment s'adapter aux tensions de la ressource en eau à l'échelle des exploitations agricoles.(Article hors série numéro 2) *La revue du Cemagref. Sciences Eaux et territoires.*

Le volume réel à apporter à la parcelle correspond donc au double du volume dont a besoin la culture sur la parcelle :

$$\textbf{Temps}_{\textbf{submersion}} = V_r / Q_f$$

Avec V_r = Volume réel à apporter à la parcelle
Q_f = Débit arrivant au niveau de la parcelle

d. Limites du modèle réalisé

Les modèles de calcul du temps de pompage nécessaire ont été mis en place à l'aide d'hypothèses simplificatrices, pouvant potentiellement modifier les résultats obtenus :

- Lors de la préconisation de la construction de nouvelles portions servant à irriguer l'exploitation, nous avons choisi des dimensions et des géométries de canaux particulières.
- Il n'y a pas de distinction entre les pertes au niveau des canaux en béton et celles au niveau des canaux en terre. De plus aucune perte n'a été considérée dans les différentes conduites souterraines, qu'elles soient existantes ou hypothétiques.

V. Propositions d'aménagements et d'améliorations du réseau

A. Exemples d'infrastructures d'irrigation possibles

Une des attentes de notre commanditaire était des propositions d'aménagements de ces canaux d'irrigation pour limiter les dégradations animales et améliorer le temps de transport de l'eau de l'entrée de l'exploitation à la parcelle à irriguer. Les solutions proposées ici, ont été mises en place il y a quelques années sur le domaine du Merle, antenne de recherche de Montpellier SupAgro située à Salon en Provence.

1. Utilisation de canaux portés en béton

Le canal porté est un moyen de transport rapide de l'eau entre les parcelles. Construit en béton, il est résistant et nécessite très peu d'entretien. On peut imaginer de le recouvrir à certains endroits pour permettre son franchissement par les animaux. Cette solution semble adaptée à l'exploitation, que ce soit au niveau des coûts de construction et d'entretien et de l'efficacité. De plus, il est possible de les remplir d'eau pour les utiliser en tant qu'abreuvoir.

Figure 17. *Canal porté en béton*

2. Utilisation de canaux en béton projeté, avec un fond drainant

Cette technique consiste en un canal en béton amélioré avec un fond drainant. Le béton utilisé est de qualité supérieure à celui du canal porté cité précédemment et offrirait une meilleure résistance aux dégradations provoquées par les animaux. Ce canal, au flanc plus élevé d'un côté que de l'autre, peut à la fois servir de canal d'irrigation et de canal de transport de l'eau d'une parcelle à l'autre. Il nécessite cependant de lourds travaux de mise en place, d'où des investissements importants. C'est pourquoi cette solution est peu utilisée à l'heure actuelle même si les résultats obtenus sur le domaine du Merle sont très encourageants.

Figure 18. *Canal en béton projeté avec un fond drainant*

3. Utilisation de membranes en PVC ou Polyéthylène

Cette technique consiste à recouvrir de membranes en polyéthylène ou en PVC des canaux en terre pour diminuer les pertes d'eau lors du transport et empêcher la propagation de la végétation. Ces membranes nécessitent un entretien régulier et délicat à réaliser car elles sont plutôt fragiles. Un certain savoir-faire est également nécessaire pour leur mise en place. Cette solution ne semble pas être une solution durable puisqu'il faut changer les membranes qui s'abîment et se déchirent. De plus, le système des martillères ne peut être utilisé dans de tels canaux. Pour le transfert de l'eau, il faut donc installer des trappes d'irrigation, difficiles à mettre en place. Les membranes présentent néanmoins l'avantage d'être peu chères. Mais compte tenu de tous les inconvénients évoqués précédemment et de la présence d'animaux sur l'exploitation, cette solution ne nous semble pas envisageable pour le Mas Saint-Germain.

Figure 19. *Exemple d'un canal recouvert par une membrane et de ses trappes d'irrigation*

B. Analyse des méthodes d'abreuvement des animaux

1. Positionnement des points d'abreuvement sur l'exploitation

Le comportement des animaux est à prendre en compte lors du positionnement des points d'abreuvement. En effet, au pâturage, les taureaux sont présents à proximité des abreuvoirs entre 1/3 et 2/3 du temps. En périodes très chaudes, ils restreignent leurs déplacements, se regroupent dans des zones ombragées et ne vont boire que si le point d'eau est à proximité. De plus, si il y a plus de 500 mètres entre la zone du pâturage et le site d'abreuvement, les taureaux négligent le pâturage et demeurent près du bassin. La distance maximale entre le site d'abreuvement et le point le plus éloigné de la parcelle doit alors être d'environ 300 mètres.

A l'aide de ces paramètres, il nous a été possible de placer plusieurs points d'abreuvement potentiels sur la carte de l'exploitation (Annexe 7). La situation de certains de ces points est liée au

fait que les animaux s'y abreuvent actuellement naturellement, et donc que cette localisation leur convient bien.

2. Proposition de différentes solutions d'abreuvement possibles

Il n'existe pas de solution universelle pour répondre aux problématiques posées par les animaux sur l'exploitation. Par contre, différents systèmes d'abreuvement ont été développés pour permettre de limiter les complications liées à l'abreuvement direct des animaux. Ces systèmes sont adaptés à la fois pour les taureaux et les chevaux.

a. Les pompes à museau

Ces pompes sont actionnées automatiquement par l'animal lorsqu'il cherche à boire. En effet, lorsqu'il approche sa tête de l'auge contenant l'eau pour s'abreuver, il actionne une pompe mécanique à l'aide de son museau. Ces pompes, reliées au réseau hydraulique de l'exploitation, assurent le remplissage de l'auge au rythme de 0.5 L par poussée de museau[7].

Plusieurs recommandations doivent être prises en compte pour mettre en place ce type de pompes :

- La pompe doit être positionnée à plus de deux mètres du couvert végétal pour éviter tout effondrement provoqué par le développement racinaire de la végétation.
- Il est préférable de fixer la pompe à une hauteur de 20 ou 30 cm au dessus de sol, de façon à faciliter son utilisation par les animaux.
- Pour éviter la formation d'une zone boueuse autour de la pompe, une stabilisation du sol est indispensable. Cette dernière peut se faire à l'aide d'une plate-forme bétonnée, ou d'un tapis spécifique de stabilisation.
- Les différentes pompes doivent être espacées d'environ deux mètres, de façon à permettre l'abreuvement de tous les animaux, y compris ceux qui sont dominés au sein du troupeau.
- Il est estimé qu'une pompe à museau permet de satisfaire les besoins en eau d'environ 6 à 8 taureaux ou chevaux.
- Pour assurer un bon fonctionnement dans le temps des pompes à museau, il est nécessaire de vérifier régulièrement le bon colmatage de la crépine au niveau de la prise d'eau, la propreté de la valve anti-retour, ainsi que l'état de la membrane qui assure le fonctionnement de la pompe.

Ce système de pompes à museau présente l'avantage d'être relativement rapide et simple à installer (il est possible de le réaliser soit même). De plus, ces pompes s'installent sans problèmes sur différentes sources d'eau : canaux, roubines, ou puits. Leur entretien est relativement simple et peu coûteux. À noter toutefois qu'une période d'adaptation d'environ une semaine est parfois nécessaire pour que le troupeau s'habitude à la présence et à l'utilisation de ces pompes.

Le coût d'un tel système est d'environ 300€ à 350€ la pompe, sans compter la dalle stabilisatrice en béton. À noter que l'achat simultané d'un plus grand nombre de pompes diminue le coût à l'unité. De plus, le coût de fonctionnement de telles pompes est nul.

[7] Conseil régional du Limousin, programme herbe et fourrage en Limousin, Août 2009. *Soif d'eautonomie, abreuvement au champ.*

b. *La création d'un accès aménagé et protégé au réseau hydraulique*

Ce système, s'il n'empêche pas l'accès des animaux aux cours d'eau, permet toutefois de mieux contrôler cet accès et d'éviter ainsi la dégradation prononcée des berges ainsi que les blessures du bétail.

Le principe consiste à aménager une pente douce à un endroit précis, dont la largeur est contrôlée. La pente douce permet de limiter la dégradation par les animaux, qui ne glissent alors plus dans les ruisseaux. Ce type de pentes s'aménage en décapant la terre superficielle, plus molle, sur environ 20 centimètres de profondeur. On peut aussi stabiliser le sol avec du géotextile ou de la pierre concassée. L'ajout de rondins de bois espacés perpendiculairement à l'axe de la pente permet de former des paliers qui évitent le glissement et l'érosion du terrain sous le piétinement des animaux. Le tout doit ensuite être recouvert de terre pour éviter les blessures des animaux. Le bas de la pente s'aménage ensuite à l'aide de madriers transversaux servant de frontière entre la descente et l'eau, et permettant de consolider la cale ainsi formée. Une barrière empêchant l'accès à l'eau des animaux mais leur permettant de passer la tête pour s'abreuver est à placer en bas de la descente. Enfin, il est nécessaire de délimiter l'ensemble de la descente à l'aide d'une clôture, pour mieux canaliser l'abreuvement du troupeau.

Pour une meilleure consolidation de la descente, l'idéal est d'aménager cette dernière entre deux arbres, de façon à profiter de la stabilisation racinaire. Notons aussi que lors de l'aménagement de telles descentes, il est indispensable de positionner la barrière terminale suffisamment proche de l'eau pour permettre l'abreuvement des animaux quel que soit le niveau dans la roubine.

c. *L'alimentation d'un abreuvoir par l'énergie solaire*

Ce système est composé d'une pompe reliée d'un côté à une source d'eau (par exemple une roubine ou un canal) et de l'autre à un bac récolteur installé sur la parcelle et permettant l'abreuvement des animaux. La pompe est alimentée en électricité par un panneau solaire associé à une batterie d'accumulation. Cette dernière permet d'activer la pompe même lorsqu'il fait nuit ou que le niveau d'ensoleillement est trop faible pour faire fonctionner les panneaux photovoltaïques.

Le fonctionnement de la pompe est régulé par l'existence d'un flotteur qui permet l'activation automatique de la pompe quand le niveau d'eau est trop faible dans le bac destiné à l'abreuvement des animaux. Les recommandations d'utilisation sont les suivantes :

- La crépine de la pompe doit être installée dans une source d'eau suffisante pour assurer son immersion constante.

- Selon le type de pompes, il est possible de placer l'abreuvoir à plus de 50m de la source d'eau.
- Le panneau solaire ne doit pas nécessairement se situer sur la parcelle et peut très bien être placé loin de la pompe.
- L'abreuvoir doit être placé au sein d'une zone stabilisée pour éviter la formation de boue.
- Il est nécessaire de vérifier et de nettoyer régulièrement la crépine pour éviter son encombrement.
- La durée de vie de la batterie est d'environ 10 ans.
- En période de froid important, il est nécessaire de désamorcer la pompe et de vider les canalisations pour éviter leur détérioration par l'eau gelée.

Ce type d'installation possède un coût de fonctionnement pratiquement nul, puisqu'il est autonome en énergie. De plus, un même panneau solaire, s'il est bien dimensionné, peut permettre l'activation de plusieurs pompes réparties sur des parcelles différentes. Le coût indicatif du bac de 900L tout équipé est de 3100€, et le coût de celui de 1500L est de 4000€. Son installation doit se faire par un professionnel.

d. L'alimentation d'un abreuvoir par l'énergie éolienne

Le principe de fonctionnement de ce système d'abreuvement est très similaire au système précédent. En effet, il y a là aussi une source d'énergie (ici le vent) qui permet l'alimentation en électricité d'une pompe à l'origine du remplissage des abreuvoirs. Il est ici aussi possible d'associer l'éolienne à une batterie permettant d'assurer le fonctionnement de la pompe même les jours sans vent. Un flotteur régule l'activation de la pompe. Les précautions d'utilisation sont les mêmes que pour le système solaire, auxquelles on peut ajouter les suivantes :

- L'éolienne doit être positionnée sur une zone plane, sans arbre ni bâtiment susceptible de perturber le vent.
- Il est préférable de placer l'éolienne de façon surélevée.
- Dans le cas d'une éolienne fixe, cette dernière doit être placée face aux vents dominants.
- La durée de vie de l'éolienne est de 40 à 50 ans.
- Il est nécessaire de vérifier la bonne rotation de l'hélice autour de l'axe, et d'effectuer un graissage de ce dernier une à deux fois par an.

Les coûts de fonctionnement de ce type de système sont ici aussi nuls, tandis que le coût indicatif de l'éolienne varie entre 1500€ et 7200€ selon son dimensionnement. Son installation doit se faire par un professionnel.

e. L'alimentation gravitaire d'un abreuvoir

Ce type d'abreuvement utilise la gravité pour remplir un abreuvoir à partir d'une source d'eau (puits, cours d'eau). Le bac de récolte permettant aux animaux de boire doit donc nécessairement se trouver en contrebas par rapport à la source. La mise en place d'un tel système doit prendre en compte certaines conditions :

- La pente entre la source initiale d'eau et l'abreuvoir doit être supérieure à 1%.
- La source doit être suffisamment profonde et la crépine installée à plus de 10cm du fond pour éviter qu'elle ne se bouche rapidement.
- La canalisation entre la source et le bac d'abreuvement doit être enterrée à plus de 60cm de la surface, de façon à éviter son piétinement par les animaux.
- Les bords de l'abreuvoir doivent être aménagés et stabilisés pour éviter la formation de boue consécutivement au piétinement régulier des animaux.

- Il est nécessaire de vérifier et nettoyer régulièrement les crépines pour éviter leur encombrement.
- En cas de période de froid important, il peut parfois être nécessaire de vidanger les tuyaux pour éviter le gel de l'eau qu'ils contiennent.

Ce type d'installation a l'avantage de pouvoir rester en place de façon définitive sans jamais nécessiter de travaux de rénovation. Il nécessite par contre d'assez importants travaux de mise en place faisant intervenir des engins lourds pour enterrer les tuyaux et le bac de récolte.

3. Le dimensionnement des points d'abreuvement

Les différentes solutions proposées ci-dessus sont ensuite à dimensionner selon les caractéristiques de l'exploitation étudiée. Après recherches bibliographiques, on obtient les besoins journaliers en eau ci-dessous. C'est à partir de ces valeurs que nos calculs de dimensionnement des points d'abreuvement sont réalisés.

Animal	Consommation journalière moyenne (L/j)
Taureaux[8]	~41
Chevaux[9]	~33

Figure 20. *Consommation journalière des animaux*

En connaissant la répartition actuelle des animaux sur l'exploitation, il est alors possible d'établir les besoins en eau d'abreuvement sur chaque parcelle :

Parcelles	Nombre de chevaux	Nombre de taureaux	Besoins journaliers totaux (L)	Besoins hebdomadaires totaux (L)
Villeneuve (Nord et Sud)	0	50	2050	~14350
Vignes, Clos de Tri et Romieu	0	50	2050	~14350
Bouvaù et Anciennes vignes	8	0	265	~1855
Pasquiers Ouest	10	0	330	~2310
Ere	5	15	780	~5460
Bergerie	0	15	615	~4305
Clos de devant	10	20	1150	~8050
Engannes	0	20	820	~5740
Long clos et Gavottes	0	60	2460	~17220

Les besoins hebdomadaires présentent un intérêt puisque ce sont eux qui permettent de dimensionner les points d'abreuvement. En effet, l'hiver il n'est possible de faire rentrer de l'eau sur l'exploitation qu'une seule fois par semaine, il est donc nécessaire de stocker suffisamment d'eau pour permettre aux animaux de s'abreuver pendant sept jours.

Il est ensuite possible de dimensionner les différents points d'abreuvements tels qu'ils sont localisés sur la carte de l'exploitation. Ce dimensionnement est établi selon le système

[8] National Research Counsil, *Nutrient Requirements of Beef Cattle, Seventh revised edition*, Washington, 2000
[9] National Research Council, *Nutrient Requirements of Horses, Sixth revised edition*, Washington, 2007

d'abreuvement : pompes à museau ou abreuvoirs à bacs (quel que soit le mode d'alimentation en eau de ces derniers).

On note que les animaux présents sur les parcelles Vignes, Clos de tri, Romieux, Bouvaù et Anciennes vignes s'abreuvent au même point d'eau, ce qui est à prendre en compte lors du dimensionnement. De plus, compte tenu de la surface des parcelles Long clos et Gavottes, le choix est fait de placer deux points d'abreuvement pour permettre au bétail de pâturer sur l'ensemble des parcelles sans jamais s'éloigner trop d'un point d'eau.

Parcelles	Nombre de pompes à museau nécessaire (1 pour 7 animaux)	Volume minimal nécessaire de l'abreuvoir
Villeneuve (Nord et Sud)	8	14,4 m^3
Vignes, Clos de tri, Romieu, Bouvaù, Anciennes vignes	9	16,2 m^3
Pasquiers Ouest	2	2,4 m^3
Ere	3	5,5 m^3
Bergerie	3	4,4 m^3
Clos de devant	5	8,1 m^3
Engannes	3	5,8 m^3
Long clos et Gavottes (1)	5	8,6 m^3
Long clos et Gavottes (2)	5	8,6 m^3

Figure 21. *Dimensionnement des points d'eau pour chaque parcelle*

Les deux premiers systèmes proposés (pompes à museau et descente aménagée au cours d'eau) semblent les plus adaptées et les plus simples à mettre en place sur l'exploitation. Toutefois, les trois derniers systèmes (alimentation solaire, éolienne, ou par gravité d'un bac de récolte), s'ils peuvent sembler au premier abord compliqués à mettre en place sur le Mas Saint-Germain, peuvent présenter un certain intérêt lorsqu'ils sont associés. En effet, il est tout à fait imaginable de placer en hauteur un panneau solaire ou une éolienne, qui alimenterait par le biais de la pompe une citerne de grande capacité elle aussi surélevée. Un tel réservoir surélevé peut permettre, selon son dimensionnement, l'alimentation par gravité de plusieurs points d'eau situés sur des parcelles différentes, en contrebas. L'alimentation en eau des abreuvoirs s'affranchit alors des aléas climatiques (soleil ou vent), puisqu'elle ne dépend plus que de la gravité. De plus, en plaçant la pompe au niveau de l'entrée de l'eau sur l'exploitation, les pertes d'eau par infiltration le long des roubines sont évitées.

On note aussi que l'ensemble des solutions proposées ici peuvent a priori être subventionnées. En effet, l'exploitation se situant en zone humide (Natura 2000), la protection de la qualité des eaux et des berges constitue une problématique importante. Ainsi, tout investissement visant à préserver les cours d'eau est susceptible d'être soutenu lors d'une demande d'aides financières. Dans le département des Deux-Sèvres, les aides versées par le Conseil Général et les Agences de l'Eau peuvent ainsi représenter jusqu'à 80% du coût de l'installation[10]. De plus, certaines mesures de protection des cours d'eau sont déjà obligatoires dans certains pays. Au Canada par exemple, l'abreuvement direct des animaux étant interdit, les solutions alternatives se développent. Il est possible que d'autres pays, dont la France, se décident aussi à prendre ce type de décisions, et il peut donc être utile de prévoir la mise en place de ces solutions.

[10] Chambre d'agriculture des Deux-Sèvres, *L'abreuvement au pâturage,* Juillet 2011

Conclusion

L'exploitation du Mas Saint-Germain étant située en Camargue, l'irrigation de ses cultures y est nécessaire. Mais le système hydraulique, ancien, a subi des dégradations de la part des animaux arrivés récemment sur l'exploitation. Mme Vadon, exploitante du mas, a alors fait appel à nous pour effectuer un état des lieux du système et lui proposer des solutions d'aménagement dans l'optique d'effectuer des travaux de rénovation.

L'état des lieux réalisé a permis de mette en évidence les dysfonctionnements du système : les roubines sont très encombrées, de nombreuses martillères manquent ou sont en mauvais état. Ces observations expliquent en partie la longueur du temps de transport de l'eau jusqu'aux parcelles et les importantes pertes d'eau tout au long du parcours. A partir des observations faites sur le domaine du Merle, des solutions ont été proposées pour régler ces problèmes. De plus, les roubines et canaux sont dégradés par les animaux qui s'abreuvent directement en certains points du réseau. Les dégradations sont telles qu'il devient nécessaire de changer le système d'abreuvement des animaux pour protéger le réseau et ralentir le phénomène d'érosion des berges. Suite à une étude bibliographique, différentes solutions d'abreuvement au champ et de protection des berges ont pu être soumises aux exploitants.

L'exploitation rencontre également des difficultés lors du pompage de l'eau dans la roubine alimentant le mas. Une mesure de débit en sortie de pompe, des calculs hydrauliques et des simulations à l'aide du logiciel Canal 21 nous ont alors permis de mettre en évidence des problèmes : le débit de pompage est égal au débit théorique d'entrée dans la roubine (100 L/s), ce qui, compte tenu de l'encombrement, des pertes par infiltration, et de la méconnaissance du débit réel en entrée, peut entraîner un phénomène de vidange de la roubine et donc un désamorçage de la pompe. De plus, l'encombrement de la roubine réduit le temps de pompage. Des solutions pour y remédier ont alors été proposées, comme par exemple réduire le débit de pompage ou curer régulièrement la roubine. De plus, les exploitants ne sachant pas exactement si leurs droits d'eau sont respectés, nous avons mis à leur disposition une méthode leur permettant d'assurer une alimentation en eau relative à leurs droits.

Pour ce qui est de l'irrigation des parcelles, les fréquences et les doses appliquées aux cultures n'étant pas connues, un modèle basé sur un bilan hydrique permettant de calculer les doses à apporter et les temps d'irrigation a été proposé au Mas Saint-Germain.

Une carte numérique de l'exploitation a également été mise en place grâce à un logiciel SIG. Elle reflète l'état des lieux actuel de l'exploitation mais illustre également certains aménagements proposés dans le cadre de ce projet. Cette carte peut être amenée à évoluer avec les travaux d'aménagement du réseau. C'est pourquoi toutes les informations relatives à l'utilisation du logiciel SIG ont été fournies aux exploitants pour leur permettre de valoriser au mieux l'outil cartographique proposé.

Ce rapport fournit à la commanditaire un grand nombre de pistes d'aménagements du réseau hydraulique de l'exploitation du Mas Saint-Germain. A elle maintenant d'utiliser ces informations aux mieux pour rénover son réseau suivant ses attentes, ses besoins et ses moyens.

Bibliographie relative au rapport

FAO . *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements- Chapter 6 – ET_C - Single crop coefficient (K_c)*.
Disponible sur Internet : http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0b.htm
[consulté le 16 octobre 2012]

FAO. *Irrigation water management : irrigation water needs. Chapter 3 : Crops water needs.*
Disponible sur Internet : http://www.fao.org/docrep/S2022E/s2022e07.htm
[consulté le 30 novembre 2012]

V.O. Sadras, S.P. Milroy, 1996. Field crop research 47 253-266. *Soil-water thresholds for the responses of leaf expansion and gas exchange : A review.*

Agriréseau, Marc F.Clément, 21 et 23 février 2005. *Adoption de méthodes alternatives de cultures de plantes fourragères pour réduire l'effet des variations climatiques*.
Disponible sur Internet : http://www.agrireseau.qc.ca/bovinsboucherie/documents/Marc.pdf
[consulté le 5 octobre 2012]

InfoClimat. Disponible sur Internet : www.infoclimat.fr
[consulté le 17 octobre 2012]

Chambre d'agriculture de Picardie, Juin 2010. *Le bilan hydrique pour optimiser votre irrigation.*

Anne Mérot et al*,* 2011. Gestion de l'eau en Crau : Comment s'adapter aux tensions de la ressource en eau à l'échelle des exploitations agricoles.(Article hors série numéro 2) *La revue du Cemagref. Sciences Eaux et territoires.*
Disponible sur Internet : http://halagroparistech.archivesouvertes.fr/docs/00/65/61/51/PDF/dg2011-pub00034829.pdf
[consulté le 31 novembre 2012]

Rapport d'étude d'EAUCEA, janvier 2011, *Plan d'optimisation de la gestion de l'eau sur le bassin versant du Chassezac, territoire des communes de Pied-de-Borne, Prévenchères et Altier*.
Disponible sur Internet : http://www.villefort-cevennes.com/IMG/pdf/Rapport_Gestion_eau_Chassezac_V2.pdf
[consulté le 14 novembre 2012]

EDF, *Option EJP*.
Disponible sur Internet : http://particuliers.edf.com/abonnement-et-contrat/les-prix/les-prix-de-l-electricite/option-ejp/en-savoir-plus-52420.html
[consulté le 23 septembre 2012]

EDF, *Relever mon compteur.*
Disponible sur Internet :http://particuliers.edf.com/abonnement-et-contrat/le-compteur/relever-mon-compteur/comment-relever-mon-compteur-794.html
[consulté le 23 septembre 2012]

Conseil régional du Limousin, Programme herbe et fourrage en Limousin, Août 2009. *Soif d'eautonomie, Abreuvement au champ*.
Disponible sur Internet :
http://www.cc-bourganeuf-royeredevassiviere.fr/IMG/pdf/Plaquette_abreuvement_Conseil_rgional.pdf
[consulté le 10 novembre 2012]

La Buvette, le spécialiste de l'abreuvement, *Guide interactif de l'abreuvement au pâturage*
Disponible sur Internet : http://www.labuvette.fr/documents/guide_abreuvement_paturage.pdf
[consulté le 7 novembre 2012]

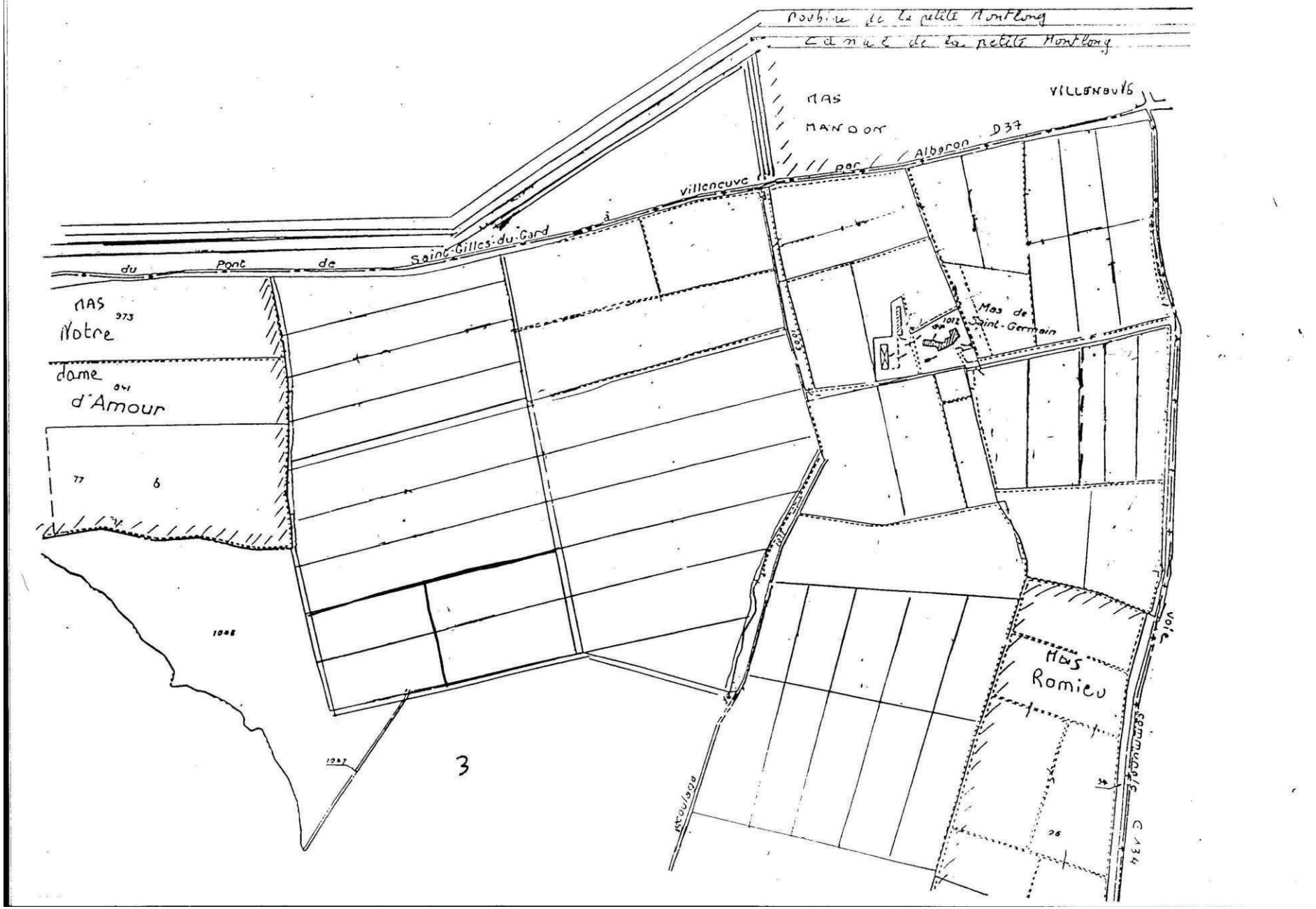
Chambre d'agriculture des Deux-Sèvres, Agricultures et territoires, *L'abreuvement au pâturage,* Juillet 2011.

Guide technique, rivière Rance et Célé, Edition 2006, *Les systèmes d'abreuvement au pâturage.*

Annexes au rapport

Annexe 1 – Cartographie actuelle de l'exploitation 43
Annexe 2 – Parcellaire de l'exploitation (EARL) 44
Annexe 3 – Parcellaire de l'exploitation (SARL) 45
Annexe 4 – Tutoriel d'utilisation du logiciel (QuantumGIS) 46
Annexe 5 – Tutoriel d'utilisation du modèle d'irrigation 53
Annexe 6 – Calcul du tour d'eau 61
Annexe 7 – Carte représentant les nouvelles propositions d'aménagement 62
Annexe 8 – Carte d'irrigation des parcelles 63
Annexe 9 – Variation du temps de pompage à la roubine en fonction du coefficient de Strickler 64
Annexe 10 – Variation du temps de pompage à la roubine en fonction du débit de pompage et du débit d'entrée 65
Annexe 11 – Tableaux de correspondance entre le nombre de tours de martillère et le débit entrant dans la roubine d'entrée dans l'exploitation 66
Annexe 12 – Exemple d'une sortie obtenue sous le logiciel Canal 21 67
Annexe 13 – Explication des notions d'hydrauliques abordées dans le rapport 69
Annexe 14 – Fiche descriptive du projet 71
Annexe 15 – Budget prévisionnel 72
Annexe 16 – Note de cadrage 73
Annexe 17 – Cahier des charges 74
Annexe 18 – Budget final 76
Annexe 19 – Compte-rendus de réunions 77

Annexe 1 – Cartographie actuelle de l'exploitation



Annexe 2 – Parcellaire de l'exploitation (EARL)

PARCELLAIRE EARL

Nom Parcelle	N°Ilôt	Ha	SAU	AU	Section	N° Plan
Rizières Chalots	2	33,01	28	5,01		
Pré Chalots	2	1,5	1,5			
Sous Total ilôt :	***2***	***34,51***	***29,50***	***5,01***		
Pointue	6	5,11	4,5	0,61		
Sous Total ilôt :	***6***	***5,11***	***4,50***	***0,61***		
Sous Total 13460 :		***39,62***	***34,00***	***5,62***		
Pré Abbar	1 a	2,8	2,8			
Grand Mont Blanc	1 b	3,1	3,1			
Jumeaux (N=>S) 1	1 c	3,1	3,1			
Jumeaux (N=>S) 2	1 d	3,4	3,4			
Long clos Est (N=>S) 1	1 e	3,4	3,4			
Long clos Est (N=>S) 2	1	3,4	3,4			
Long clos Est (N=>S) 3	1	3,1	3,1			
Long clos Est (N=>S) 4	1	2,6	2,6			
Long clos Est (N=>S) 5	1	2,2	2,2			
Long clos Est (N=>S) 6	1	1,6	1,6			
Gavottes Est (N=>S) 1	1 g	2,7	2,7			
Gavottes Est (N=>S) 2	1	2,6	2,6			
Gavottes Est (N=>S) 3	1	2,7	2,7			
Gavottes Est (N=>S) 4	1	3	3			
Long clos Ouest (N=>S) 1	1 i	3,1	3,1			
Long clos Ouest (N=>S) 2	1 k	3,1	3,1			
Long clos Ouest (N=>S) 3	1 l	3,1	3,1			
Quatre clos (N=>S) 1	1 m	3,2	3,2			
Quatre clos (N=>S) 2	1 n	3	3			
Autres utilisations	1	9,65		9,65		
Sous Total ilôt :	***1***	***64,85***	***55,20***	***9,65***		
Pré de devant	3 a	1	1			
Renard	3 b	4,4	4,4			
Clos de devant Nord (E=>O) 1	3 c	1,7	1,7			
Clos de devant Nord (E=>O) 2	3	1,7	1,7			
Clos de devant Nord (E=>O) 3	3	1,7	1,7			
Clos de devant Nord (E=>O) 4	3	1,7	1,7			
Clos de devant Nord (E=>O) 5	3	1,8	1,8			
Clos de devant Sud (E=>O) 1	3	1,7	1,7			
Clos de devant Sud (E=>O) 2	3	1,7	1,7			
Clos de devant Sud (E=>O) 3	3	1,7	1,7			
Clos de devant Sud (E=>O) 4	3	1,7	1,7			
Clos de devant Sud (E=>O) 5	3	2,1	2,1			
Autres utilisations	3	4,29		4,29		
Sous Total ilôt :	***3***	***27,19***	***22,90***	***4,29***		
Pré route Ouest (N=>S) 1	4	1,8	1,8			
Pré route Ouest (N=>S) 2	4	1,5	1,5			
Pré route Est (E=>O) 1	4	1,6	1,6			
Pré route Est (E=>O) 2	4	1,1	1,1			
Pré draille	4	1	1			
Villeneuve Nord (E=>O) 1	4	1	1			
Villeneuve Nord (E=>O) 2	4	1	1			
Villeneuve Nord (E=>O) 3	4	1,1	1,1			
Villeneuve Sud (E=>O) 1	4	1,1	1,1			
Villeneuve Sud (E=>O) 2	4	1	1			
Villeneuve Sud (E=>O) 3	4	1,2	1,2			
Autres utilisations	4	3,97		3,97		
Sous Total ilôt :	***4***	***17,37***	***13,40***	***3,97***		
Bouvaù	5 a	1,6	1,6			
Vignes (E=>O) 1	5 b	1,2	1,2			
Vignes (E=>O) 2	5	1,2	1,2			
Vignes (E=>O) 3	5	1	1			
Romieux	5 c	2,5	2,5			
Clos de tri	5	2,3	2,3			
Autres utilisations	5	1,57		1,57		
Sous Total ilôt :	***5***	***11,37***	***9,80***	***1,57***		
Sous Total 13200 :		***120,78***	***101,30***	***19,48***		
Total Propriété:		***160,40***	***135,30***	***25,10***	*16% AU*	

Annexe 3 – Parcellaire de l'exploitation (SARL)

PARCELLAIRE SARL

Nom Parcelle	N°Ilôt	Ha	SAU	AU
Marais Chalot	2	3,692	3,692	
Longuette	2	1,533	1,533	
Longuette	2	4,075	4,075	
Sous Total ilôt :	*2*	*9,30*	*9,30*	
Maison Abbar				
Chemin Abbar				
Roubine chemin Abbar				
Ere -> Irriguable	4		2	
Bergerie	4		2	
Puits et Berger	4		0,5	
Sous Total ilôt :	*4*	*5,01*	*4,50*	*0,51*
Anciennes vignes Irriguable	5	2,39	2,1	0,29
Sous Total ilôt :	5	2,39	2,1	0,29
Pasquiers Est (Irriguable	6		2,2	
Pasquiers Ouest)	6		2,6	
Sous Total ilôt :	*6*	*5,61*	*4,80*	*0,81*
Fossé pré devant				
Canier Noisetier				
Noisetier				
Engannes Vaccarès N	1			
Engannes Vaccarès S	1			
Sous Total ilôt :	*1*	*17,37*	*16,07*	*1,30*
Mas				
Noria				
Roubine draille				
Draille				
Sous Total "Mas" :				
Total Propriété:				
Engannes Parc Est	3			
Engannes Parc Ouest	3			
Sous Total ilôt :	*3*	*42,86*	*42,86*	
Total Exploité:		***82,54***	***79,63***	***2,91***

Annexe 4 – Tutoriel d'utilisation du logiciel (QuantumGIS)

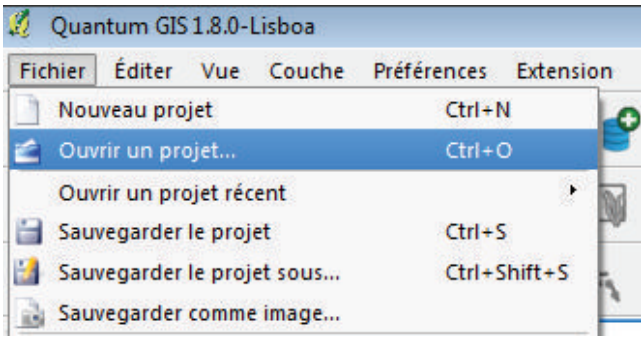
Cette annexe a pour but de présenter l'ensemble des outils utilisés lors de la réalisation de la cartographie fournie à l'exploitation du Mas Saint-Germain. Elle doit permettre à l'exploitante de tirer pleinement partie de la cartographie interactive fournie. De plus, cette annexe devrait aussi permettre à l'exploitante, si elle le souhaite, d'aller plus loin dans l'utilisation de cette carte en mettant à jour cette dernière en fonction des évolutions de l'exploitation.

A. Utilisation de la carte interactive pour une gestion centralisée de l'exploitation

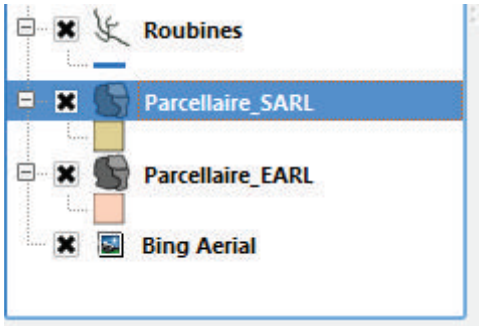
La carte interactive s'utilise à l'aide du logiciel QGIS. Elle présente un ensemble de caractéristiques qui ne sont pas visibles sur la carte en tant qu'image (format .JPG). Ces caractéristiques, appelées ici attributs, correspondent à un ensemble d'informations que nous avons collecté et mis en relation avec les différents champs de la légende. Ces champs (parcelles, roubines, canaux, pompes, dégradations animales, martillères, points d'eau), correspondent chacun à une couche d'informations sous QGIS.

Les étapes à suivre sont les mêmes pour visualiser chacune de ces informations dans un tableau, quel que soit le champ auquel elles sont rattachées. La méthode générale est la suivante :

- Ouvrir le logiciel ***QGIS*** en double cliquant sur l'icône du bureau (il est nécessaire d'être connecté à Internet pour assurer un fonctionnement optimal).
- Une fois QGIS ouvert, cliquer sur l'onglet ***Fichier,*** en haut à gauche de la page.
- Dans le menu déroulant qui s'ouvre, cliquer sur ***Ouvrir un projet…***



- Dans la fenêtre qui s'ouvre, chercher le fichier « Carte mas st germain.qgs » dans l'arborescence de l'ordinateur. Cliquer une fois dessus, puis cliquer sur ***Ouvrir.*** Attendre alors que la carte se charge (cela peut prendre quelques secondes).
- Une fois la carte chargée, la liste des couches d'informations composant la carte apparaît à gauche de l'écran. D'un simple clic, sélectionner la couche voulue, ici ***Parcellaire_SARL*** par exemple. Elle apparaît alors en bleue :



- Une fois la couche voulue sélectionnée, cliquer sur l'icône ***Ouvrir la table d'attributs,*** qui se trouve dans la liste d'icônes au dessus de la carte :

La table d'attributs apparaît, on a alors accès à toutes les informations enregistrées en relation avec la couche sélectionnée :

Attribute table - Parcellaire_SARL :: 0 / 8 feature(s) selected

	id	PARCELLE	SAU_HA	CULTURE	DATE_1	DATE_2	INFOBULLE
0	101	Engannes Vacc...	16.07	NULL	NULL	NULL	Engannes Vacc...
1	301	Engannes Parc	42.86	NULL	NULL	NULL	Engannes Parc ...
2	401	Ere	2	NULL	NULL	NULL	Ere - 2 Ha
3	402	Bergerie	2	NULL	NULL	NULL	Bergerie - 2 Ha
4	403	Puits et Berger	0.5	NULL	NULL	NULL	Puits et Berger ...
5	501	Anciennes vignes	2.1	NULL	NULL	NULL	Anciennes vign...
6	601	Pasquiers Est	2.2	NULL	NULL	NULL	Pasquiers Est - ...
7	602	Pasquiers Ouest	2.6	NULL	NULL	NULL	Pasquiers Oues...

Les cases indiquant « NULL » correspondent aux cases où l'information est manquante actuellement.

La carte interactive actuelle donne ainsi accès à différentes données d'intérêt pour la gestion de l'exploitation.

1. Informations relatives au parcellaire

Les couches d'informations ***Parcellaire_SARL*** et ***Parcellaire_EARL*** contiennent toutes les deux le même type d'informations organisées en colonnes. Chacune d'elles donne ainsi accès à :

- **id** : un numéro identifiant chaque parcelle

Ce numéro est toujours constitué de 3 chiffres, où le premier correspond au numéro d'îlot, et les deux suivants au numéro de la parcelle dans l'îlot.

- **PARCELLE** : le nom de la parcelle associée
- **SAU_HA** : la surface de la parcelle en hectares
- **CULTURE** : le type de culture
- **DATE_1** : la date de dernière irrigation
- **DATE_2** : la date de prochaine irrigation prévue
- **INFOBULLE** : une colonne regroupant certaines de ces informations et permettant de les afficher directement sur la carte. (l'utilisation de cette colonne est détaillée par la suite).

2. Informations relatives au réseau hydraulique

Les deux couches ***Canaux*** et ***Roubines*** contiennent toutes les deux le même type d'informations. Chacune d'elles donne accès à :

- **id** : un numéro identifiant chaque tronçon du réseau hydraulique
- **FORME** : la forme du tronçon associé
- **LARGEUR_M** : la largeur du tronçon, en mètres
- **LONGUEUR_M** : la longueur du tronçon, en mètres
- **HAUTEUR_M** : la hauteur (ou profondeur) du tronçon, en mètres
- **MATERIAU** : le type de structure du tronçon

- **ENCOMBREMENT** : l'état d'encombrement du tronçon
- **AIDE :** si le tronçon est engagé dans une mesure d'aide
- **DATE_1 :** date des derniers travaux réalisés
- **TRAVAUX_1 :** nature des derniers travaux réalisés
- **DATE_2 :** date prévue des prochains travaux à réaliser
- **TRAVAUX_2 :** nature des prochains travaux à réaliser
- **COUT_PREVU :** coût prévisionnel des prochains travaux à réaliser
- **INFOBULLE** : une colonne regroupant certaines de ces informations

3. Informations relatives aux martillères visibles sur l'exploitation

La couche ***Martillères existantes*** donne accès aux informations suivantes :

- **id** : le numéro identifiant chaque martillère
- **HAUTEUR_M** : la hauteur de la martillère en mètres
- **LARGEUR_M** : la largeur de la martillère en mètres
- **ETAT** : l'état d'entretien de la martillère
- **INFOBULLE**

4. Informations relatives aux dégradations animales

La couche ***Dégradations animales*** donne accès aux informations suivantes :

- **id** : le numéro identifiant chaque dégradation
- **LARGEUR_M** : la largeur de la dégradation en mètres
- **LONGUEUR_M** : la longueur de la dégradation en mètres
- **INFOBULLE**

5. Affichage des informations directement sur la carte

Toutes ces informations peuvent être affichées sur la carte, sans avoir à passer par la table attributaire. L'affichage se fait alors sous la forme d'une infobulle qui s'affiche lorsque l'on passe le curseur de la souris sur l'élément voulu de la carte. Cet affichage est intéressant puisqu'il permet un accès rapide et clair à des informations ciblées. La méthode à suivre est la suivante :

- Ouvrir le logiciel ***QGIS*** et charger la carte « Carte mas st germain.qgs ».
- Une fois la carte chargée, cliquer sur l'icône ***Infobulles*** dans la liste d'icônes située au dessus de la carte :

- Une fois les infobulles activées, sélectionner la couche dont on souhaite visualiser les informations dans la liste des couches d'informations située sur la gauche de l'écran. Ici on utilise la couche ***Parcellaire_SARL***. Elle apparaît alors en bleu :

- Une fois la couche sélectionnée, passer le curseur de la souris sur l'élément voulu de la carte et qui appartient à la couche sélectionnée précédemment. Une bulle apparaît alors :

En changeant le curseur de place, on peut afficher les informations relatives aux autres éléments de la couche sans autre manipulation.

A noter que les informations affichées dans les infobulles sont uniquement celles contenues dans le champ ***Infobulles*** de la table attributaire de la couche sélectionnée. En modifiant les informations contenues dans ce champ (la méthode est détaillée dans la suite du rapport), il est possible de visualiser n'importe quelle information directement sur la carte. Notons aussi qu'il est possible de se déplacer sur la carte à tout moment pour visualiser des éléments hors cadre. Il faut pour cela rester appuyé sur le bouton gauche de la souris pendant qu'on déplace cette dernière, de façon à faire « défiler » la carte. Il est aussi possible de zoomer/dézoomer en utilisant la molette centrale de la souris.

B. Ajout d'un nouvel élément au sein d'une couche d'informations déjà existante

1. Création de l'élément sous QuantumGIS

Cette partie explique comment ajouter, par exemple, une nouvelle parcelle à la couche déjà existante ***Parcellaire_SARL*** (c'est l'exemple que nous prendrons ici). Cela peut avoir un intérêt pour l'exploitation dans le cas où, par exemple, le Mas Saint-Germain venait à acquérir d'autres parcelles voisines. Les étapes à suivre sont les suivantes :

- Ouvrir le logiciel ***QGIS.***
- Charger la carte « ***Carte mas st germain.qgs*** »
- Dans la liste des couches située à gauche de l'écran, sélectionner d'un simple clic la couche à laquelle vous souhaitez rajouter un élément. La couche apparaît alors en bleu dans la liste.
- Cliquer ensuite sur l'icône ***basculer en mode édition*** :

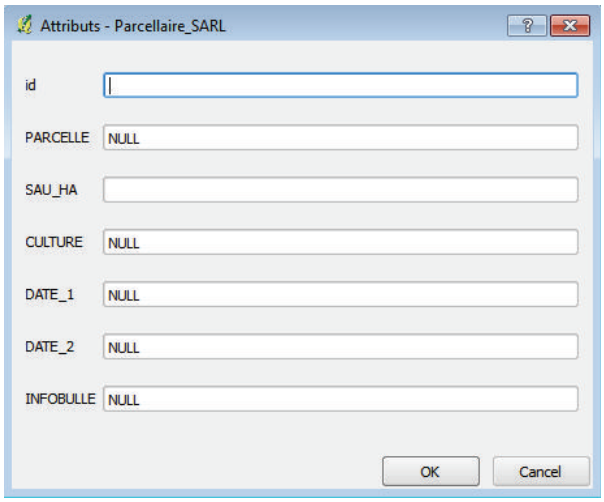
  Les éléments de la couche apparaissent alors entourés de petites croix rouges.

- Déplacer la carte vers la zone où se situe le nouvel élément. Zoomer ou dézoomer si besoin.
- Cliquer ensuite sur l'icône ***Ajouter une entité*** :

- Effectuer ensuite un simple clic au bord de l'élément que l'on cherche à numériser. Déplacer le curseur. Une zone rouge qui suit votre curseur apparaît alors. Placer d'autres points à l'aide de simple clics gauche de la souris pour détourer l'ensemble de la parcelle. A noter que plus vous placerez de points, plus votre cartographie sera précise. Il est possible de zoomer ou de dézoomer

à tout moment. Pour placer le dernier point de votre parcelle, effectuer un **clic droit** à l'endroit voulu.

- Une fenêtre de dialogue apparaît alors :



- Renseigner uniquement le champ ***id*** en prenant soin de ne pas choisir un numéro déjà attribué. Laisser les autres inchangés et cliquer sur ***OK.*** Le nouvel élément apparaît alors sur la carte, au même titre que les éléments déjà présents.
- Cliquer ensuite sur ***Sauvegarder les modifications*** :

- Cliquer de nouveau sur l'icône ***Basculer en mode édition***, pour sortir du mode édition et revenir au mode classique.

En répétant cette suite d'opération, il est possible d'ajouter plusieurs éléments à la suite. Cette méthode est valable quelle que soit la couche à laquelle on souhaite ajouter des entités.

2. Ajout d'informations à l'élément nouvellement créé

Une fois un nouvel élément ajouté à une couche d'informations, il est tout à fait possible de rajouter des informations le concernant dans la table attributaire. Pour ce faire, il faut passer par la table au format DBF, que l'on ouvre avec le logiciel ***OpenOffice.***

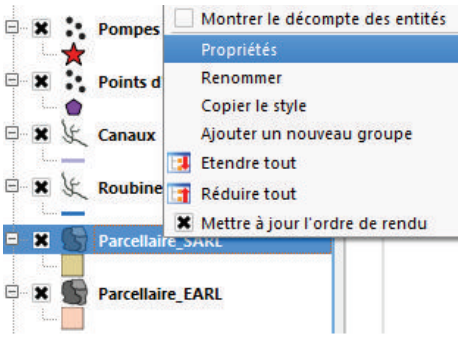
- Ouvrir le fichier DBF contenant les attributs de la couche à laquelle il a été rajouté un élément à l'aide du logiciel ***OpenOffice.*** Ici, on ouvre « attributs parcelles SARL.dbf ».
- A la suite des lignes déjà remplies, remplir une ligne vierge en commençant par le champ ***ID.*** Le numéro ajouté doit impérativement être le même que celui qui a servi à remplir le champ ***id*** du nouvel élément créé sous ***QGIS***.
- Remplir ensuite les champs (colonnes) qui suivent comme dans n'importe quel tableur.
- Enregistrer le tableau et quitter ***OpenOffice***. Le nouvel élément fait maintenant totalement partie de la carte.

C. Affichage d'informations ancrées sur la carte : utilisation des étiquettes

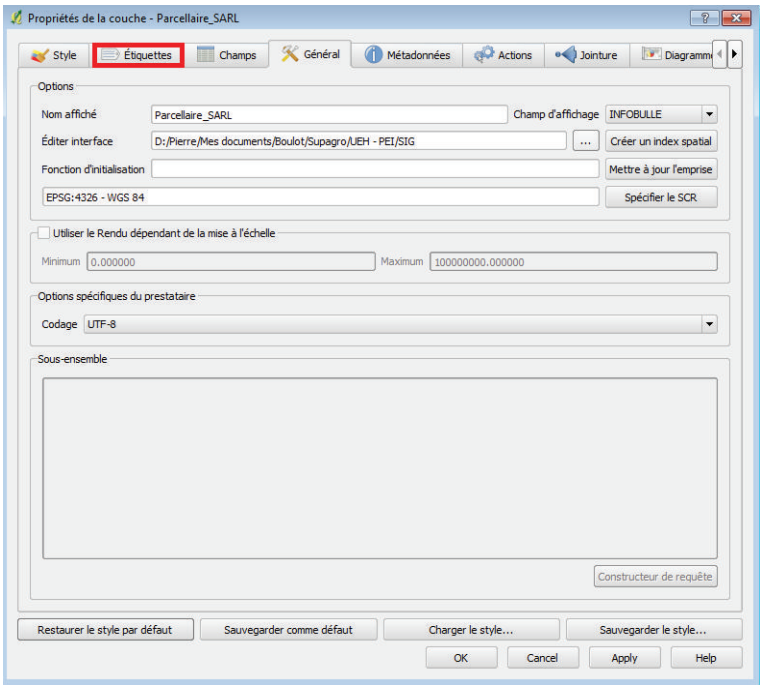
En plus des infobulles dont le principe de fonctionnement a été vu précédemment, il est possible d'afficher certaines informations de manière écrite sur la carte. Cette fonctionnalité présente de l'intérêt lorsque l'on veut enregistrer la carte de manière définitive,

en vue d'une impression par exemple. C'est notamment ce qui a été utilisé pour afficher le nom des parcelles sur la carte fournie à l'exploitante. La méthode à suivre est la suivante :

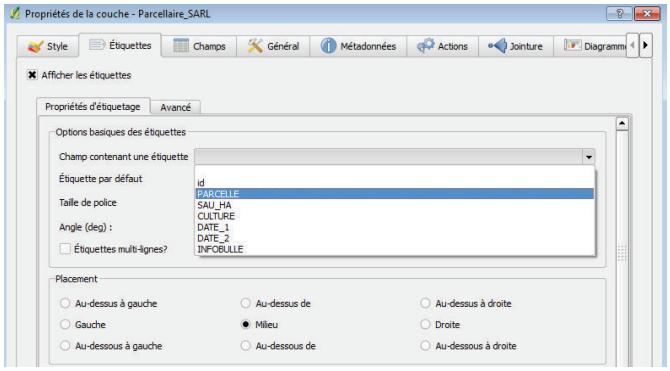
- Ouvrir le logiciel ***QGIS*** et charger la carte « ***Carte mas st germain.qgs*** »
- Dans la liste des couches située sur la gauche de l'écran, sélectionner la couche désirée d'un simple clic gauche. La couche apparaît alors en surbrillance.
- Effectuer ensuite un clic gauche sur la couche en surbrillance, une liste de choix apparaît alors :



- Dans la liste, cliquer sur ***propriétés***. Une fenêtre de dialogue apparaît alors :



- Cliquer sur l'onglet ***Etiquettes*** situé en haut à gauche de la fenêtre de dialogue.
- Cliquer ensuite sur la barre située à droite des mots « champ contenant une étiquette ». Un menu déroulant apparaît :



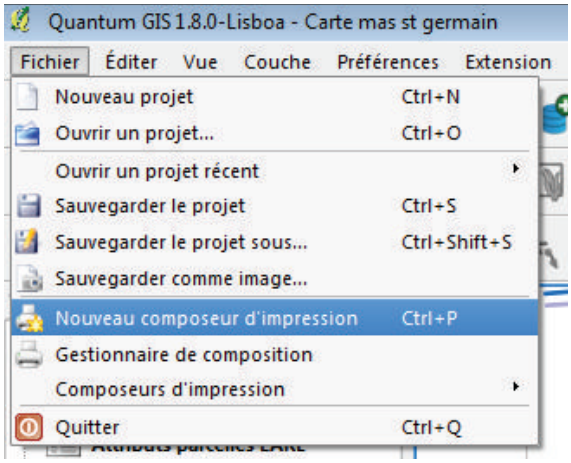
Sélectionner alors dans le menu déroulant le champ contenant les informations à afficher.

- Cliquer ensuite sur *OK* en bas à droite de la fenêtre de dialogue.
- Vérifier que les informations sont bien apparues sur la carte interactive.

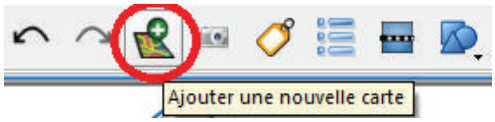
D. Enregistrer une nouvelle carte au format PDF

Enregistrer une au format PDF carte réalisée sous le logiciel ***QGIS*** permet de rendre la carte lisible par n'importe quel ordinateur. C'est une étape indispensable si l'on veut imprimer la carte, la diffuser sur Internet, ou encore la partager avec des interlocuteurs. Les étapes à suivre sont les suivantes :

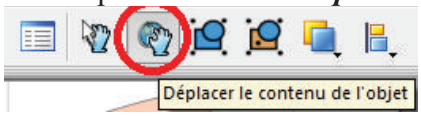
- Ouvrir le logiciel ***QGIS*** et charger la carte voulue.
- Cliquer sur l'onglet ***Fichier*** en haut à gauche de la page affichée. Un menu déroulant apparaît alors, cliquer sur ***Nouveau composeur d'impression :***



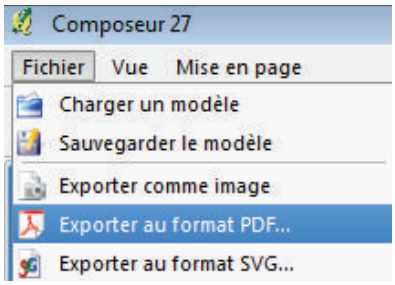
- La fenêtre qui apparaît permet de créer la future carte telle qu'elle sera lors de l'enregistrement au format PDF. Cliquer sur l'icône ***Ajouter une nouvelle carte*** :



- Dans le cadre blanc situé au centre de la page, tracer ensuite un rectangle en maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé. La carte apparaît alors. Ajuster les bords de la carte aux bords du cadre blanc pour qu'elle soit la plus grande possible.
- Il est possible de déplacer la vue de la carte de façon à centrer un élément en particulier par exemple. Il faut pour cela cliquer sur l'icône ***Déplacer le contenu de l'objet :***



- Cliquer ensuite sur la carte et déplacer le curseur tout en maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé. La vue de la carte est alors déplacée.
- Enfin, pour enregistrer la carte au format PDF, cliquer sur l'onglet ***Fichier.*** Dans le menu déroulant qui apparaît, cliquer sur ***Exporter au format pdf*** :



Annexe 5 – Tutoriel d'utilisation du modèle d'irrigation

L'objectif de cette annexe est de faciliter l'utilisation et les possibles améliorations du modèle d'irrigation. Ce modèle est utilisable sur excel 1997 et les versions suivantes. Il n'est pas utilisable sur Open Office.

A. Faire fonctionner le modèle

1. Rentrer les données météorologiques

Pour estimer les besoins en eau des cultures, la méthode du bilan hydrique a été utilisée. Elle prend en compte l'évapotranspiration des plantes qui est directement liée aux variables climatiques et à l'état hydrique du sol. Pour optimiser l'utilisation du modèle, l'utilisateur doit donc entrer des indications sur la température et la pluviométrie. Ces données concernent les mois de mars à septembre.

Dans l'onglet ***données météo***, il est demandé à l'utilisateur de renseigner la température maximale, la température minimale et la pluviométrie en mm de chaque jour de mars à septembre.

Températures extrémales

Pluviométrie

G33 =100*F33/(12,22*365)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmoy (°C)	P (mm)	durée du jour	p	ETRéf
2	01-mars	5,6	12,8	9,2	0	11,23	0,25185152	3,11
3	02-mars	3,7	11,5	7,6	0	11,28	0,25297252	2,94
4	03-mars	4,9	12,2	8,55	0,2	11,33	0,25409352	3,07
5	04-mars	3,4	13,9	8,65	0,2	11,38	0,25521452	3,09
6	05-mars	4,4	16,9	10,65		11,43	0,25633552	3,34
7	06-mars	4	15,8	9,9	0	11,48	0,25745652	3,27
8	07-mars	4,7	15,4	10,05	0	11,52	0,25820386	3,29
9	08-mars	3,5	12	7,75	0	11,57	0,25932486	3,03
10	09-mars	0,7	13,3	7	0	11,62	0,26044586	2,96
11	10-mars	3	16,6	9,8	0	11,67	0,26156686	3,31
12	11-mars	5,9	13,8	9,85	0	11,72	0,26268786	3,33
13	12-mars	7,6	12,4	10	22,2	11,77	0,26380886	3,36
14	13-mars	9	11	10	6,8	11,82	0,26492986	3,37
15	14-mars	9,1	14,7	11,9	18,4	11,87	0,26605086	3,62
16	15-mars	10,5	13,1	11,8	35,1	11,92	0,26717186	3,62
17	16-mars	9,9	14,5	12,2	13,1	11,97	0,26829287	3,69
18	17-mars	7,3	18,4	12,85	0	12,02	0,26941387	3,78
19	18-mars	8,6	16,8	12,7	0	12,07	0,27053487	3,78
20	19-mars	8,3	18,6	13,45	0	12,12	0,27165587	3,89
21	20-mars	6,6	14,5	10,55	0	12,17	0,27277687	3,54
22	21-mars	4,9	14,7	9,8	0	12,22	0,27389787	3,46
23	22-mars	5,2	15,5	10,35	0	12,27	0,27501887	3,55
24	23-mars	4,8	19,6	12,2	0	12,32	0,27613987	3,79
25	24-mars	5,4	18,3	11,85	0	12,37	0,27726087	3,77
26	25-mars	5	16,6	10,8	0	12,42	0,27838187	3,65
27	26-mars	5,8	17,2	11,5	0,6	12,47	0,27950287	3,75
28	27-mars	10,2	12,1	11,15	53,2	12,52	0,28062387	3,72
29	28-mars	7,4	18,4	12,9	0	12,57	0,28174488	3,96
30	29-mars	7,7	19,3	13,5	0	12,62	0,28286588	4,06
31	30-mars	8,7	20	14,35	0	12,67	0,28398688	4,18
32	31-mars	11,7	22,4	17,05	0	12,72	0,28510788	4,55

dimensions des ouvrages | données météo | temps de transport | planning | pré abbar | pré route ouest

Onglet *données météo*

Ces données pourront être trouvées sur le site Internet de météofrance qui les laisse en libre accès pendant une semaine ou sur le site Internet d'infoclimat qui archivent toutes les données météorologiques des stations renseignées.

a. Obtention des données météorologiques sur le site Internet de météofrance

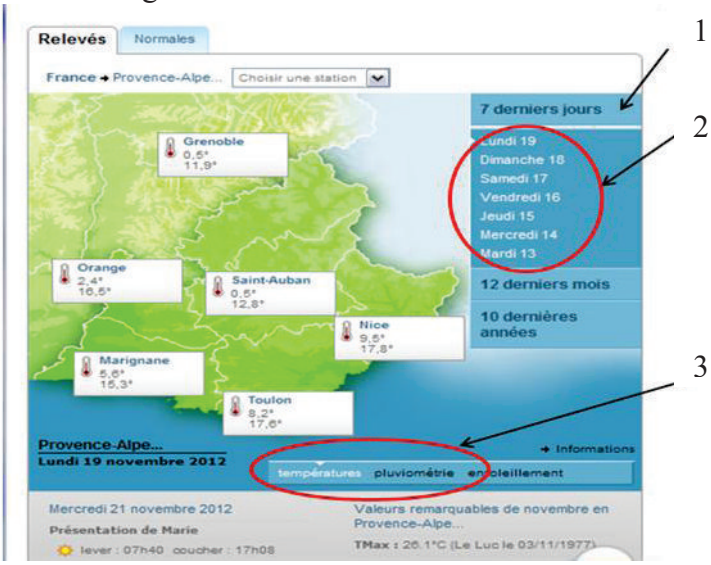
Accéder au site internet de météofrance via l'adresse : www.meteofrance.com.

Cliquer sur l'onglet ***données publiques*** puis sur l'onglet ***données en libre accès***. Plusieurs rubriques telles que ***observations des 7 derniers jours***, ***image radar***, ***image satellite*** apparaissent. Cliquer sur ***accéder aux données*** dans la rubrique ***observations des 7 derniers jours***. Cliquer sur

consulter dans la rubrique ***Climat en France*** située à droite de la carte de France. Dans le menu déroulant juste au dessus de la carte, sélectionner la région souhaitée.

Vous obtenez alors une carte du même type que la carte ci contre.

1. Cliquer sur l'onglet ***7 derniers jours***
2. Choisir le jour souhaité
3. Choisir le type de données à afficher



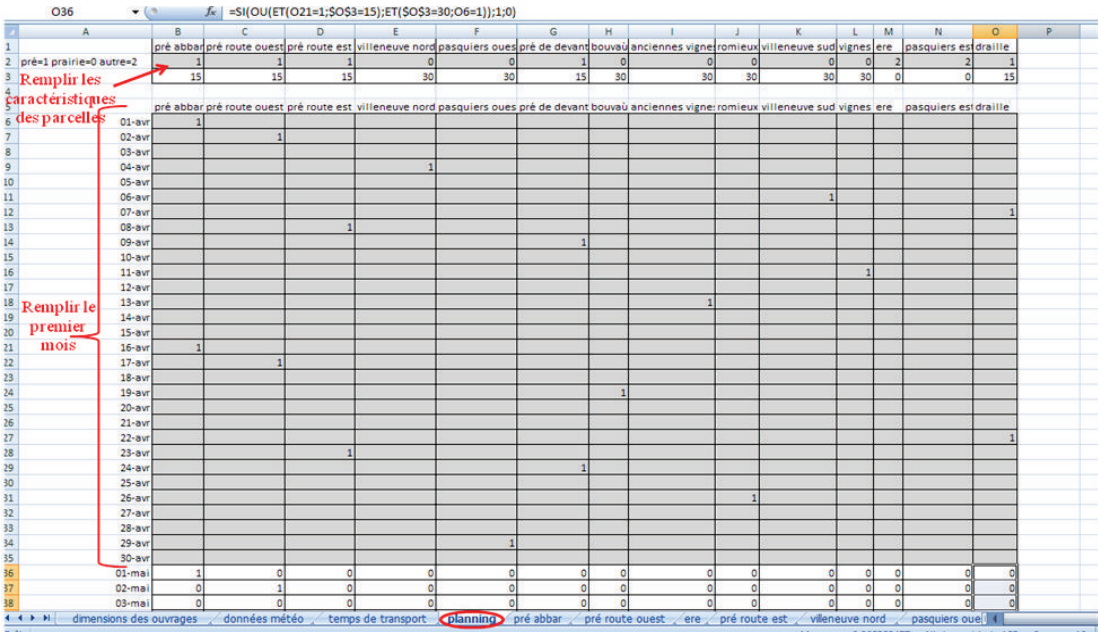
b. <u>Obtention des données météorologiques sur le site Internet d'infloclimat</u>

Accéder au site internet d'infoclimat via l'adresse : www.infoclimat.fr.

Cliquer sur l'onglet ***climatologie***. Dans la rubrique « données climato », cliquer sur ***base climato/pluvio***. Choisir ensuite la station la plus proche dans l'un des deux menus déroulants : ***choisir un poste amateur*** ou ***choisir un poste automatique***. On obtient alors un tableau avec des relevés météorologiques mensuels. Cliquer sur le mois voulu. On obtient alors un relevé quotidien des données météorologiques de ce mois d'où l'on extrait les températures extrémales et la pluviométrie.

2. <u>Rentrer les informations nécessaires pour la mise en place du planning d'irrigation</u>

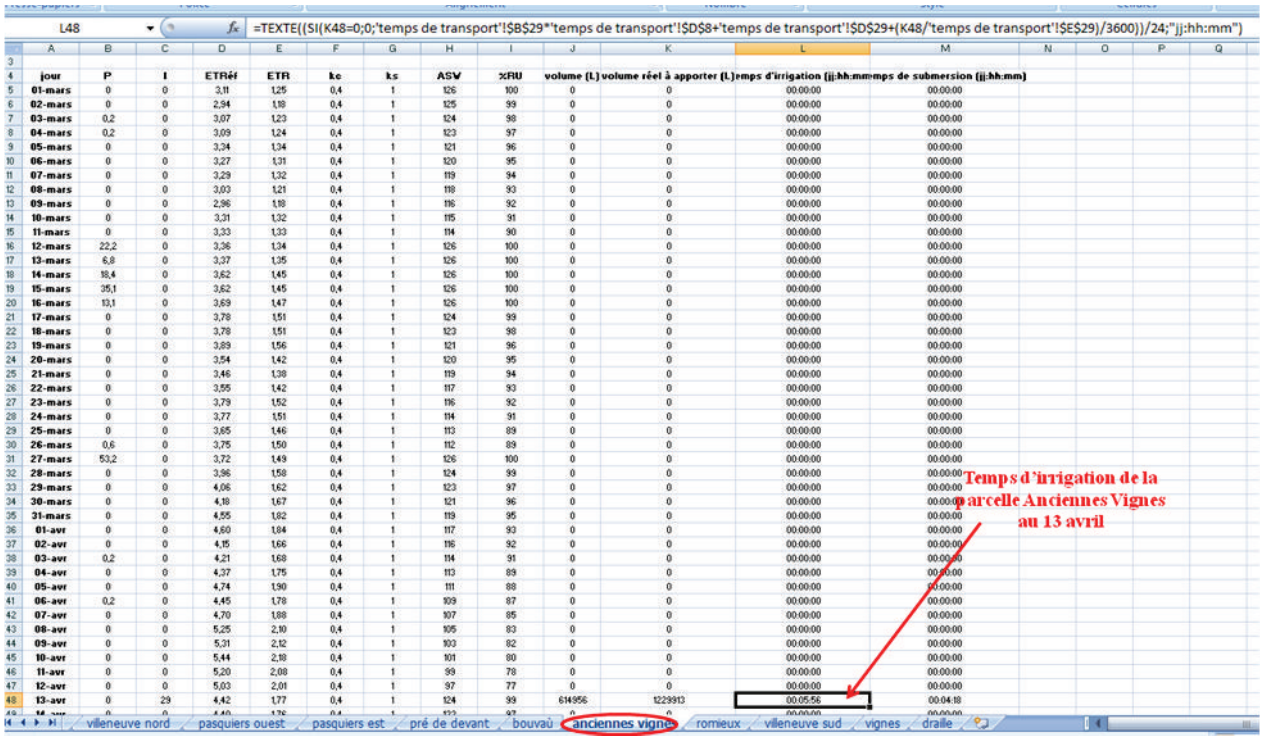
Suivant l'utilisation de la parcelle considérée, la stratégie d'irrigation de la parcelle sera différente. Pour faire fonctionner le modèle, il est donc nécessaire de renseigner l'utilisation de la parcelle (pré, prairie, blé ou riz). Pour ce faire, aller dans l'onglet ***planning*** et renseigner la ligne 2 par 0, 1 ou 2 pour chaque parcelle. 0 correspond aux prairies, 1 aux prés et 2 aux cultures de blé ou de riz. Il est ensuite nécessaire de remplir le planning d'irrigation pour le mois d'avril. Le planning se fera automatiquement pour les mois suivants. Pour chaque parcelle, rentrer 1 dans la case correspondant aux jours d'irrigation. Par exemple, si le Pré Abbar est irrigué le 15 avril, mettre 1 dans la case B20.



N.B: Le nom des parcelles correspondent aux noms donnés sur la carte interactive. Il n'est pas utile de mettre des 0, les jours où la parcelle n'est pas irriguée.

3. Utilisation du modèle

Le modèle est alors opérationnel. Pour connaître la durée d'irrigation d'une parcelle, cliquer sur l'onglet portant le nom de la parcelle, le temps d'irrigation aux dates prévues par le planning est indiqué dans la colonne du même nom en jours, heures, minutes. Par exemple, pour connaître le temps d'irrigation de la parcelle Anciennes Vignes au 13 avril, cliquer sur l'onglet ***anciennes vignes***. La case L48 indique le temps d'irrigation calculé par le modèle.



N.B: Même si aucune irrigation n'est effectuée durant le mois de mars, ne pas supprimer les lignes correspondant au mois de mars car ces données sont nécessaires à l'établissement du bilan hydrique.

B. Améliorer/modifier le modèle

Les temps d'irrigation obtenus par ces modèles sont des temps indicatifs. Un regard critique doit être apporté sur les valeurs obtenues qui n'ont pas la prétention d'être juste à l'heure près mais ont pour objectifs de donner un ordre d'idée. Les modèles ont été faits de sorte que certaines améliorations puissent être faites en fonction des observations des exploitants.

1. Modifier la surface d'une ou plusieurs parcelles

Si les surfaces des parcelles irriguées venaient à évoluer au cours du temps, il est possible d'intégrer ces changements aux modèles.

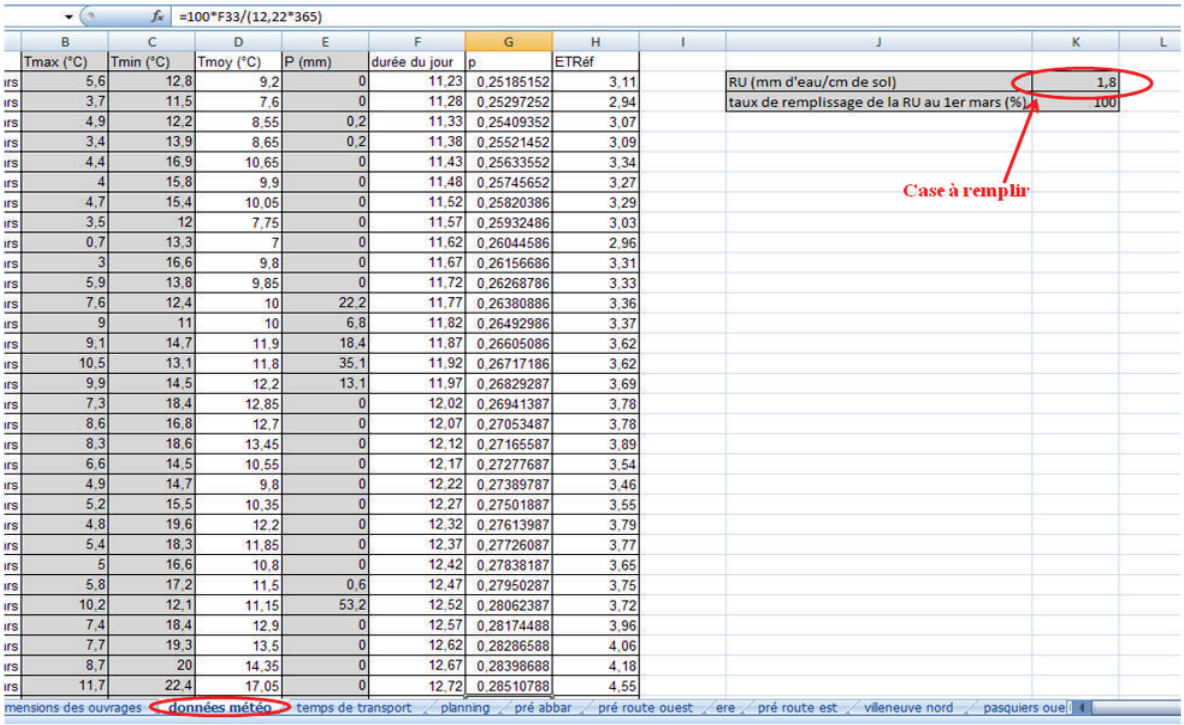
Cliquer sur l'onglet portant le nom de la parcelle dont on veut modifier la surface et changer le nombre dans la case ***surface*** (**I1**). Les surfaces doivent être exprimées en hectares.

2. Modifier la réserve utile

a. *Valeur de la réserve utile*

La valeur de la réserve utile dépend de la texture du sol. Une étude de sol permettrait alors d'avoir une idée plus précise de la réserve utile.

A partir du triangle des textures et valeurs de RU correspondantes que l'on trouve par exemple dans la brochure *Le bilan hydrique pour optimiser votre irrigation* publiée par les chambres d'agricultures de Picardie, compléter la ***case grisée RU*** (case K2) de la feuille ***données météo*** avec la valeur de la RU en mm d'eau par cm de sol. Ces unités sont celles exprimés sur le triangle. L'axe horizontal correspond au pourcentage en limons du sol, l'axe vertical correspond au pourcentage en argile. A partir de ces deux pourcentages, retrouver sur le triangle la valeur de la RU.



	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmoy (°C)	P (mm)	durée du jour	p	ETRéf
irs	5,6	12,8	9,2	0	11,23	0,25185152	3,11
irs	3,7	11,5	7,6	0	11,28	0,25297252	2,94
irs	4,9	12,2	8,55	0,2	11,33	0,25409352	3,07
irs	3,4	13,9	8,65	0,2	11,38	0,25521452	3,09
irs	4,4	16,9	10,65	0	11,43	0,25633552	3,34
irs	4	15,8	9,9	0	11,48	0,25745652	3,27
irs	4,7	15,4	10,05	0	11,52	0,25820386	3,29
irs	3,5	12	7,75	0	11,57	0,25932486	3,03
irs	0,7	13,3	7	0	11,62	0,26044586	2,96
irs	3	16,6	9,8	0	11,67	0,26156686	3,31
irs	5,9	13,8	9,85	0	11,72	0,26268786	3,33
irs	7,6	12,4	10	22,2	11,77	0,26380886	3,36
irs	9	11	10	6,8	11,82	0,26492986	3,37
irs	9,1	14,7	11,9	18,4	11,87	0,26605086	3,62
irs	10,5	13,1	11,8	35,1	11,92	0,26717186	3,62
irs	9,9	14,5	12,2	13,1	11,97	0,26829287	3,69
irs	7,3	18,4	12,85	0	12,02	0,26941387	3,78
irs	8,6	16,8	12,7	0	12,07	0,27053487	3,78
irs	8,3	18,6	13,45	0	12,12	0,27165587	3,89
irs	6,6	14,5	10,55	0	12,17	0,27277687	3,54
irs	4,9	14,7	9,8	0	12,22	0,27389787	3,46
irs	5,2	15,5	10,35	0	12,27	0,27501887	3,55
irs	4,8	19,6	12,2	0	12,32	0,27613987	3,79
irs	5,4	18,3	11,85	0	12,37	0,27726087	3,77
irs	5	16,6	10,8	0	12,42	0,27838187	3,65
irs	5,8	17,2	11,5	0,6	12,47	0,27950287	3,75
irs	10,2	12,1	11,15	53,2	12,52	0,28062387	3,72
irs	7,4	18,4	12,9	0	12,57	0,28174488	3,96
irs	7,7	19,3	13,5	0	12,62	0,28286588	4,06
irs	8,7	20	14,35	0	12,67	0,28398688	4,18
irs	11,7	22,4	17,05	0	12,72	0,28510788	4,55

Par exemple, avec un sol à 40% de limons et 35% d'argile, on obtient une RU de 1,8mm d'eau par cm de sol. C'est ce chiffre que l'on rentre dans la case grisée RU.

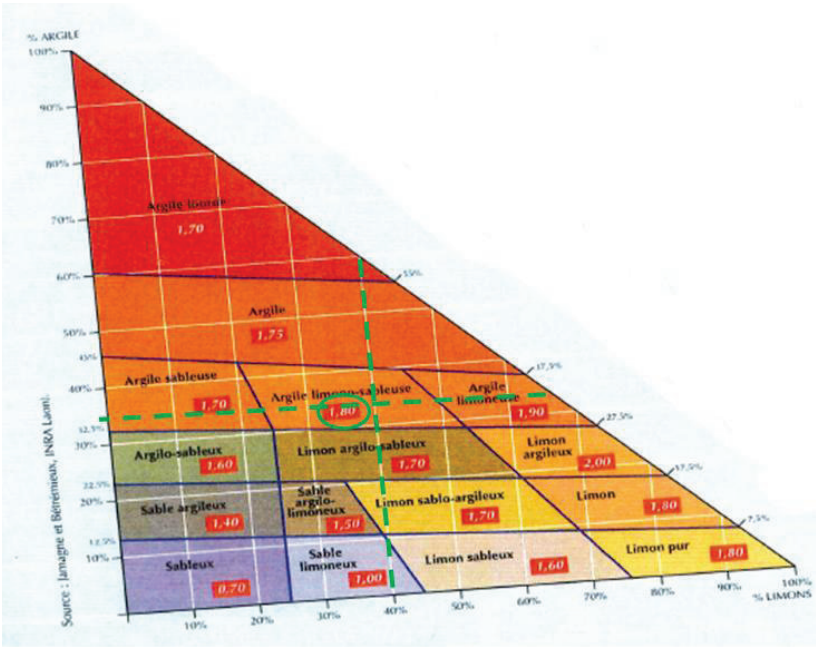
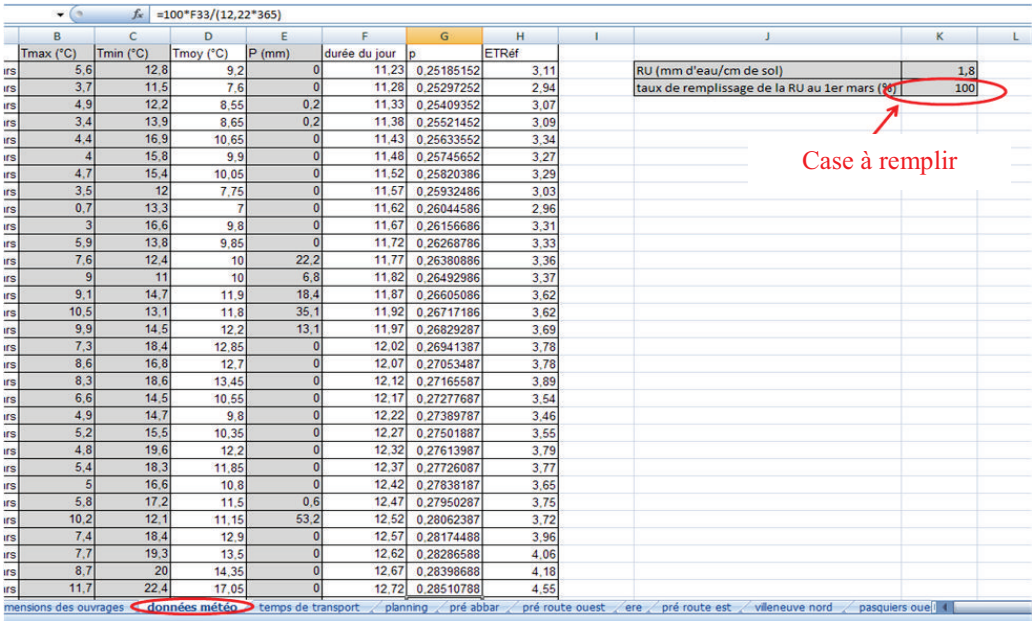


Figure. *Triangle des textures et valeurs des R.U correspondantes*

b. *<u>Taux de remplissage de la réserve utile au premier mars</u>*

Le modèle fait l'hypothèse que le taux de remplissage de la RU au 1er mars est de 100%. Ceci peut être rectifié si l'exploitation procède à une analyse du taux de remplissage de la RU avec un tensiomètre par exemple.

Rentrer alors ce pourcentage de remplissage dans la case ***taux de remplissage de la RU au 1er mars*** (case K3) de la feuille ***données météo***.

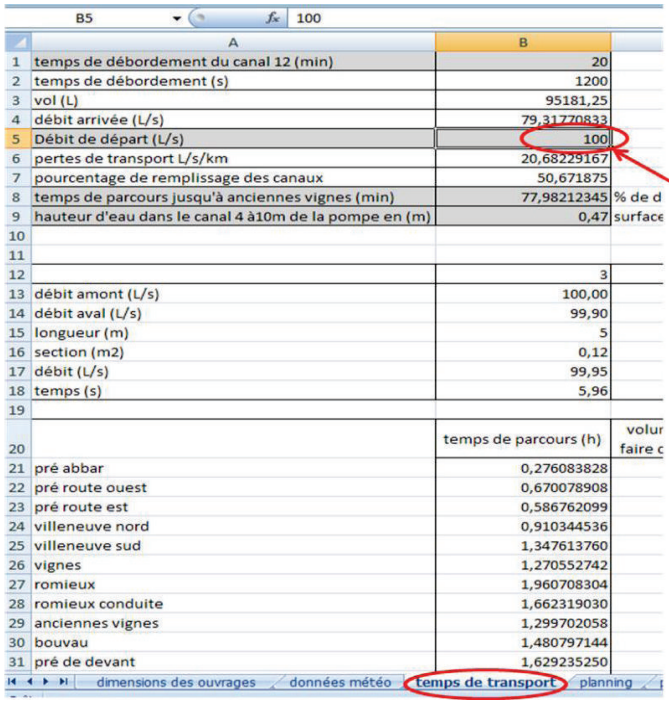


<u>N.B</u>: Le taux de remplissage de la RU au 1er mars n'influe cependant que sur le temps d'irrigation de la première irrigation de chaque parcelle puisque chaque irrigation est censée remplir la RU.

3. <u>Modifier le débit en entrée de l'exploitation</u>

Le débit en entrée du réseau peut évoluer au cours du temps, par exemple, si l'on venait à brider la pompe. Cette modification peut être intégrée au modèle en rentrant la nouvelle valeur de

débit en entrée dans la case ***débit de départ*** (B5) de la feuille ***temps de transport***. Le débit doit être exprimé en $L.s^{-1}$.

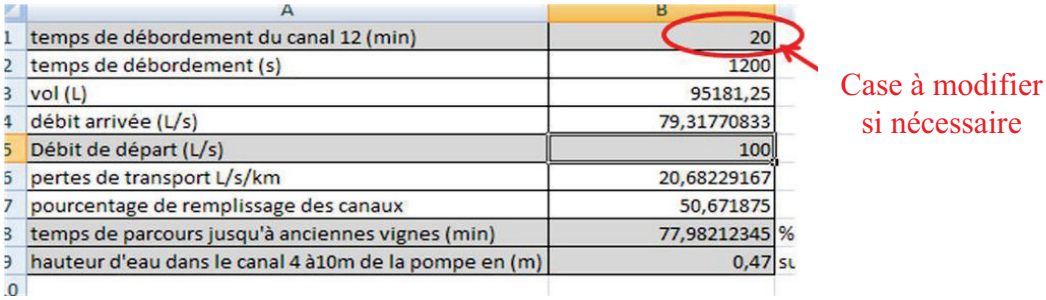


	A	B
1	temps de débordement du canal 12 (min)	20
2	temps de débordement (s)	1200
3	vol (L)	95181,25
4	débit arrivée (L/s)	79,31770833
5	Débit de départ (L/s)	100
6	pertes de transport L/s/km	20,68229167
7	pourcentage de remplissage des canaux	50,671875
8	temps de parcours jusqu'à anciennes vignes (min)	77,98212345
9	hauteur d'eau dans le canal 4 à10m de la pompe en (m)	0,47
10		
11		
12		3
13	débit amont (L/s)	100,00
14	débit aval (L/s)	99,90
15	longueur (m)	5
16	section (m2)	0,12
17	débit (L/s)	99,95
18	temps (s)	5,96
19		
20		temps de parcours (h)
21	pré abbar	0,276083828
22	pré route ouest	0,670078908
23	pré route est	0,586762099
24	villeneuve nord	0,910344536
25	villeneuve sud	1,347613760
26	vignes	1,270552742
27	romieux	1,960708304
28	romieux conduite	1,662319030
29	anciennes vignes	1,299702058
30	bouvau	1,480797144
31	pré de devant	1,629235250

4. Modifier l'estimation des pertes

Dans le modèle proposé, les pertes de débit lors du transport de l'eau dans les différents canaux ont été estimées à $20L.s^{-1}.km^{-1}$. Il est cependant possible d'améliorer ce chiffre en procédant à une mesure de débit au niveau de la parcelle Anciennes Vignes.

Une fois que l'eau est arrivée à l'extrémité du canal desservant la parcelle Anciennes Vignes (canal 12 de la carte interactive), chronométrer le temps de remplissage du canal (temps entre le moment où l'eau arrive à l'extrémité du canal et le moment où le canal déborde). Reporter ce temps dans la case ***temps de débordement du canal 12*** (B1) de la feuille ***temps de transport***. Il doit être exprimé en minutes. Le débit est alors calculé automatiquement permettant ainsi au modèle de réajuster les pertes liées au transport et de les intégrer dans ses calculs.

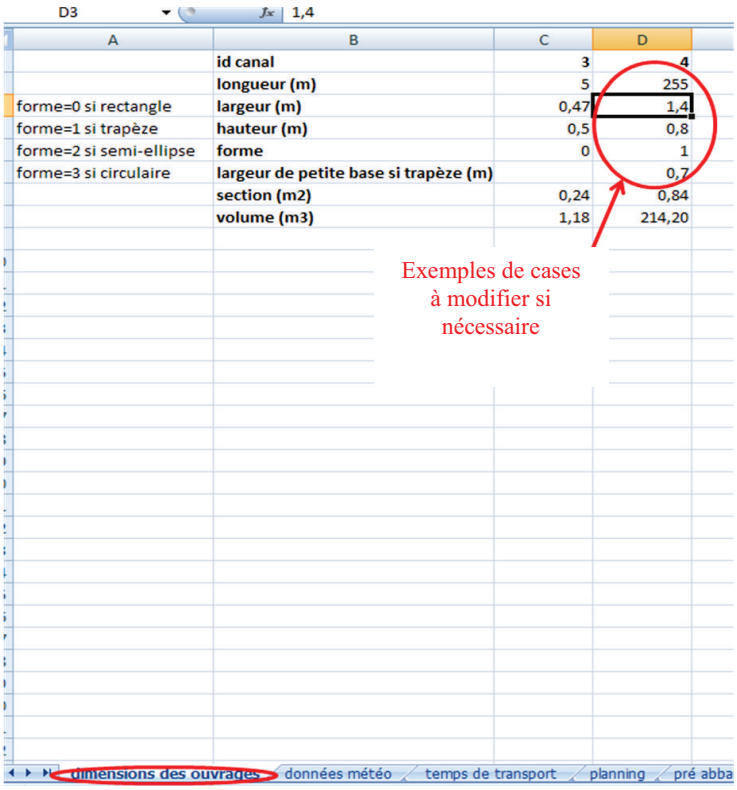


	A	B
1	temps de débordement du canal 12 (min)	20
2	temps de débordement (s)	1200
3	vol (L)	95181,25
4	débit arrivée (L/s)	79,31770833
5	Débit de départ (L/s)	100
6	pertes de transport L/s/km	20,68229167
7	pourcentage de remplissage des canaux	50,671875
8	temps de parcours jusqu'à anciennes vignes (min)	77,98212345
9	hauteur d'eau dans le canal 4 à10m de la pompe en (m)	0,47
10		

5. Modifier le dimensionnement des canaux

Certaines dimensions de canaux n'ont pu être prises pour cause d'encombrement ou parce que l'accès à ces canaux n'était pas possible. Les dimensions des nouveaux canaux ont de plus été décidées par rapport à un canal type. Des modifications des dimensions des canaux peuvent alors s'avérer pertinentes. Ces modifications peuvent être intégrées et prises en compte dans le modèle.

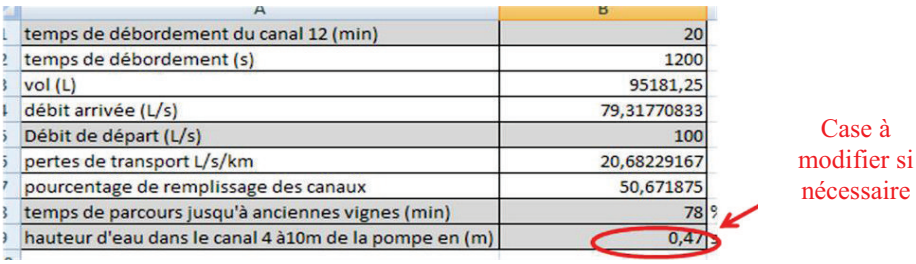
Dans l'onglet « dimensions des ouvrages », changer les dimensions des canaux. Elles sont exprimées en mètres. Les canaux sont identifiés par le numéro apparaissant sur la carte interactive.


D3
1,4
id canal 3 4
longueur (m) 5 255
forme=0 si rectangle largeur (m) 0,47 1,4
forme=1 si trapèze hauteur (m) 0,5 0,8
forme=2 si semi-ellipse forme 0 1
forme=3 si circulaire largeur de petite base si trapèze (m) 0,7
section (m2) 0,24 0,84
volume (m3) 1,18 214,20
Exemples de cases à modifier si nécessaire
dimensions des ouvrages
données météo
temps de transport
planning
pré abba

6. Modifier l'estimation de la section mouillée

Lors du calcul du temps de parcours, le modèle considère un certain pourcentage de section mouillée par rapport à la section totale du canal. Il est estimé à 50% d'après nos observations de terrain.

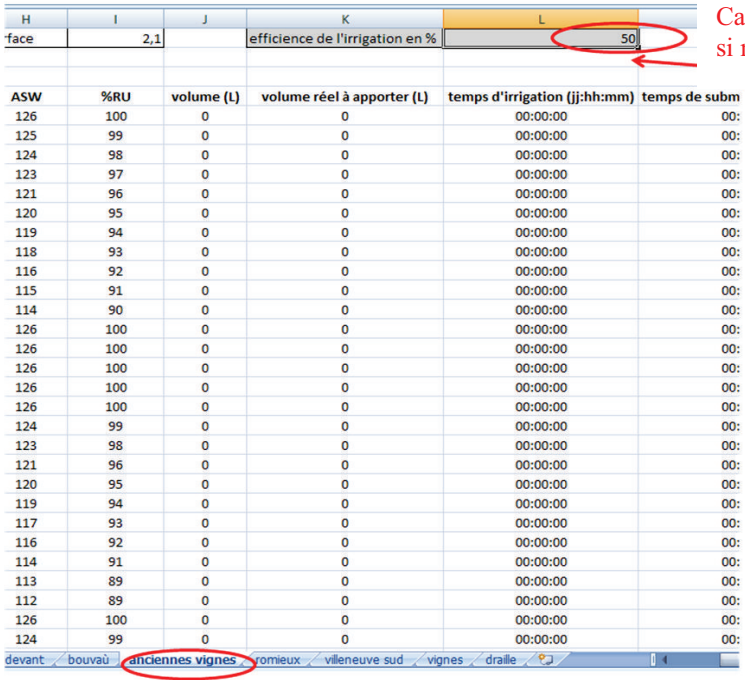
Pour modifier ce pourcentage, mesurer la hauteur d'eau dans le canal 4 (ID issu de la carte interactive) à une dizaine de mètres de la pompe d'entrée. Entrer la valeur en mètres dans la case hauteur ***d'eau dans le canal 4 à 10m de la pompe*** (case B9 de la feuille ***temps de transport***).


temps de débordement du canal 12 (min) 20
temps de débordement (s) 1200
vol (L) 95181,25
débit arrivée (L/s) 79,31770833
Débit de départ (L/s) 100
pertes de transport L/s/km 20,68229167
pourcentage de remplissage des canaux 50,671875
temps de parcours jusqu'à anciennes vignes (min) 78
hauteur d'eau dans le canal 4 à10m de la pompe en (m) 0,47
Case à modifier si nécessaire

7. Modifier l'estimation de l'efficience de l'irrigation à la parcelle

L'efficience de l'irrigation dépend entre autre de la taille de la planche à irriguer, du nivellement de la parcelle, de la nature du sol et de la météo. Ce n'est donc pas une valeur tabulée. Le modèle l'estime à 50%. Selon les observations des exploitants, ce chiffre pourra être modifié pour chaque parcelle.

Pour modifier l'efficience, entrer la valeur voulue dans la case ***efficience de l'irrigation*** (case L1) de la feuille de la parcelle dont on veut modifier l'efficience. Cette valeur correspond à un pourcentage.



H	I	J	K	L
face	2,1		efficience de l'irrigation en %	50

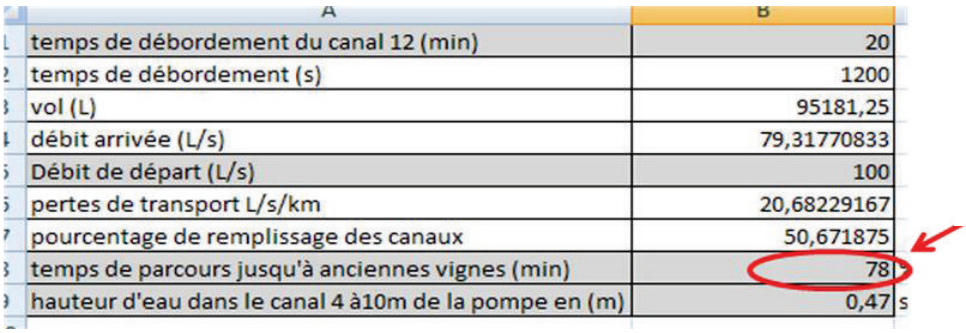
ASW	%RU	volume (L)	volume réel à apporter (L)	temps d'irrigation (jj:hh:mm)	temps de subm
126	100	0	0	00:00:00	00:
125	99	0	0	00:00:00	00:
124	98	0	0	00:00:00	00:
123	97	0	0	00:00:00	00:
121	96	0	0	00:00:00	00:
120	95	0	0	00:00:00	00:
119	94	0	0	00:00:00	00:
118	93	0	0	00:00:00	00:
116	92	0	0	00:00:00	00:
115	91	0	0	00:00:00	00:
114	90	0	0	00:00:00	00:
126	100	0	0	00:00:00	00:
126	100	0	0	00:00:00	00:
126	100	0	0	00:00:00	00:
126	100	0	0	00:00:00	00:
126	100	0	0	00:00:00	00:
124	99	0	0	00:00:00	00:
123	98	0	0	00:00:00	00:
121	96	0	0	00:00:00	00:
120	95	0	0	00:00:00	00:
119	94	0	0	00:00:00	00:
117	93	0	0	00:00:00	00:
116	92	0	0	00:00:00	00:
114	91	0	0	00:00:00	00:
113	89	0	0	00:00:00	00:
112	89	0	0	00:00:00	00:
126	100	0	0	00:00:00	00:
124	99	0	0	00:00:00	00:

devant | bouvaù | anciennes vignes | romieux | villeneuve sud | vignes | draille

Case à modifier si nécessaire

8. Amélioration du temps de parcours par chronometrage

Pour améliorer l'estimation du temps de parcours, chronométrer le temps mis par l'eau pour atteindre l'extrémité du canal irriguant la parcelle Anciennes Vignes (canal 12 de la carte interactive). Dans la feuille ***temps de parcours***, entrer ce temps dans la case ***temps de parcours jusqu'à anciennes vignes*** (case B8). Ce temps doit être exprimé en minutes. Le modèle calcule alors la différence par rapport au temps calculé et intègrent cette différence pour tous les temps de parcours.



A	B
temps de débordement du canal 12 (min)	20
temps de débordement (s)	1200
vol (L)	95181,25
débit arrivée (L/s)	79,31770833
Débit de départ (L/s)	100
pertes de transport L/s/km	20,68229167
pourcentage de remplissage des canaux	50,671875
temps de parcours jusqu'à anciennes vignes (min)	78
hauteur d'eau dans le canal 4 à10m de la pompe en (m)	0,47

Case à modifier si nécessaire

Annexe 6 – Calcul du tour d'eau

L'exploitante irrigue actuellement ses prés toutes les deux semaines et souhaiterait irriguer ses prairies une fois par mois. Ces fréquences d'irrigation se basent sur l'expérience des exploitants. Nous avons alors voulu savoir si de telles fréquences étaient justifiées scientifiquement. Pour cela, nous avons calculé le tour d'eau. Il correspond au rapport entre la RFU et l'évapotranspiration journalière moyenne (ETR_j) du mois de pointe (mois de juillet). La RFU, Réserve Facilement Utilisable, correspond à la quantité d'eau du sol qu'une plante peut se procurer facilement. Elle dépend de la plante étudiée mais est en moyenne égale aux deux tiers de la Réserve Utile (RU). Le tour d'eau correspond donc au temps minimal de vidange de la RFU. Il indique alors l'intervalle de temps nécessaire entre deux irrigations.

Les parcelles étudiées sont toutes des parcelles enherbées naturellement. Il nous suffit donc de calculer le tour d'eau sur l'une des parcelles pour connaître le tour d'eau de toutes les autres. Ce dernier sera alors calculé pour la parcelle Anciennes Vignes.

Les mêmes hypothèses que celles du bilan hydrique sont utilisées, à savoir :

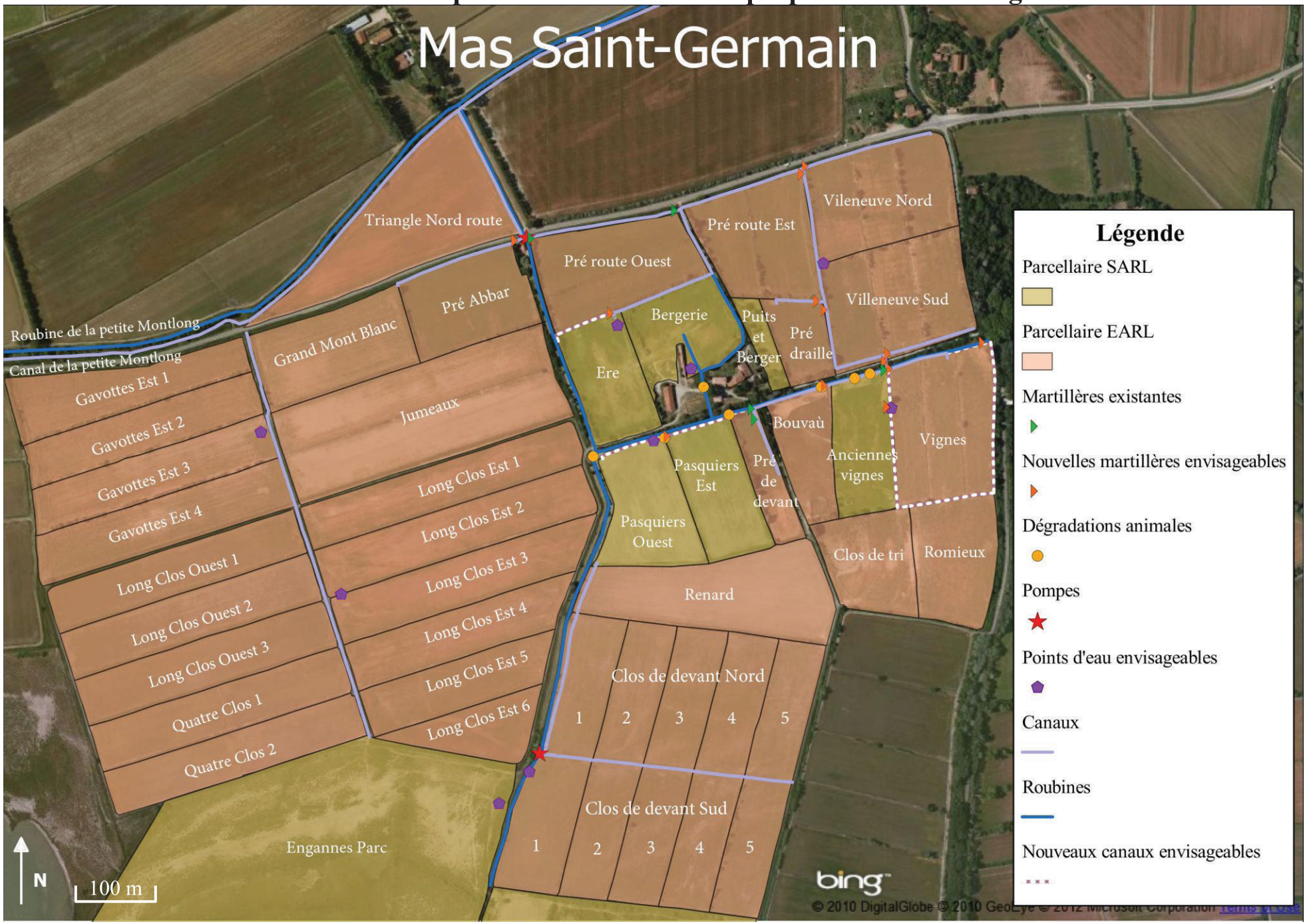
- Sol argileux et RU (mm d'eau par m de sol) = 175
- Profondeur d'enracinement de 0.7m

On obtient alors le résultat suivant : RFU=2/3*RU=2/3*0.7*175 = **82mm.**

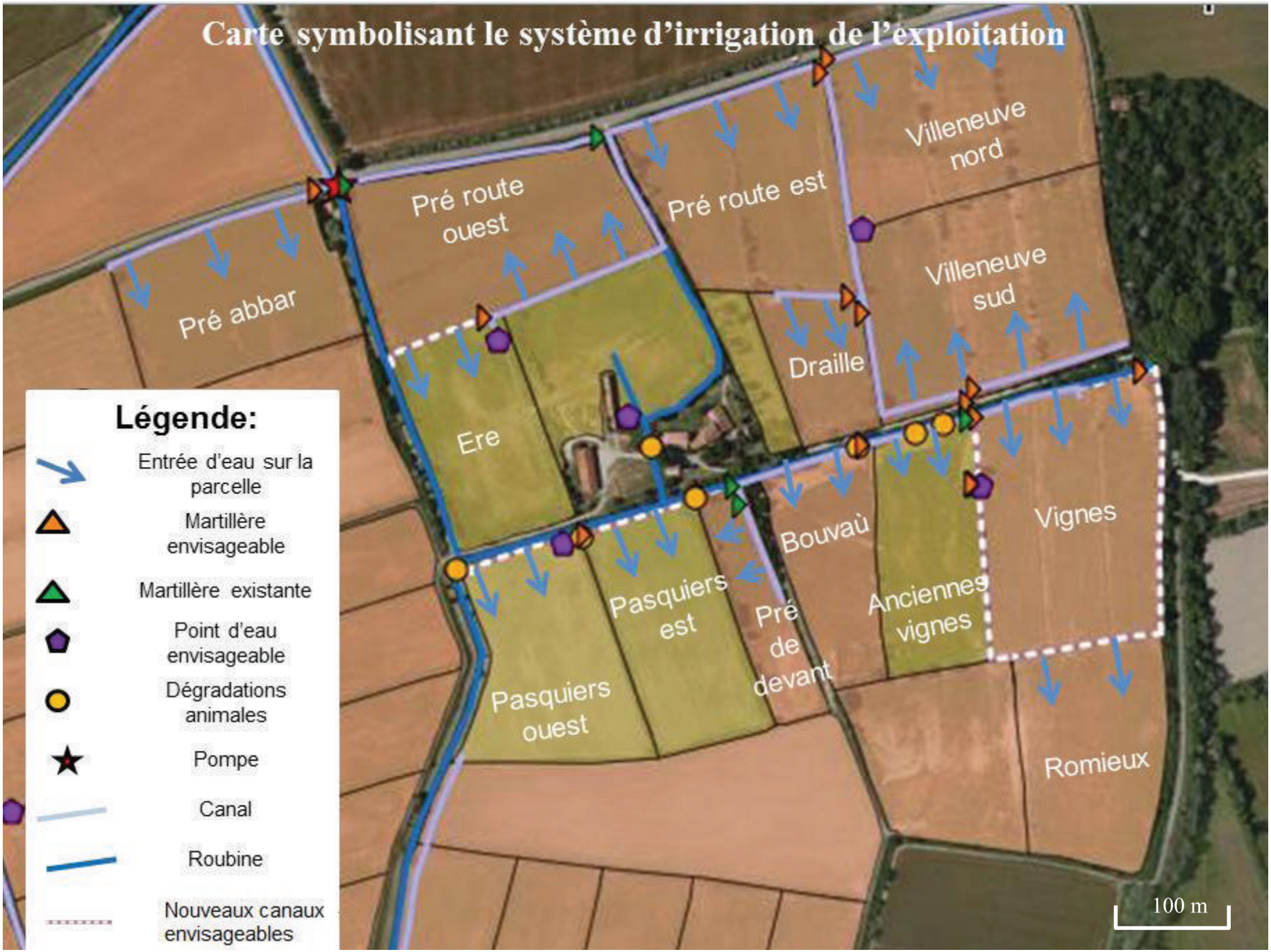
En faisant la moyenne de l'évapotranspiration journalière au mois de juillet 2012, on obtient : ETR_j=3.57mm/j.

Le tour d'eau est donc égal à 82/3.57=23 jours. Cela signifie que la parcelle Anciennes Vignes ainsi que toutes les autres parcelles n'auraient besoin d'être irriguées que tous les 23 jours. Les fréquences d'irrigation de l'exploitation sont donc cohérentes. En effet, les prairies ne servent que de pâture aux troupeaux, un stress hydrique d'une si courte durée n'est pas préjudiciable. Les prés, quant à eux sont fauchés, une pousse importante d'herbe de qualité est donc recherchée, c'est pourquoi la fréquence d'irrigation sera plus faible que le tour d'eau.

Annexe 7 – Carte représentant les nouvelles propositions d'aménagement



Annexe 8 – Carte d'irrigation des parcelles



Annexe 9 – Variation du temps de pompage à la roubine en fonction du coefficient de Strickler

Le tableau suivant indique la variation du temps de remplissage de la roubine d'entrée d'exploitation en fonction de l'encombrement de l'encombrement de cette dernière. L'encombrement est ici représenté par le coefficient de Strickler (15- très encombrée ; 35- peu encombrée). Les valeurs sont données pour différentes hauteur de remplissage (Hav) de la roubine.

Hauteur remplissage aval (Hav en m)	Coefficient de Strickler	Volume initial de la roubine remplie (m3)	Volume minimal (m3)	Volume maximal pompé (m3)	Débit de pompage (m3/s)	Temps de pompage maximal (h)	Débit en entrée (m3/s)	Temps de remplissage (h)
3	35	18704	742	17962	0,1	49,9	0,1	52
3	15	18704	1086	17618	0,1	48,9	0,1	52
1	35	5024	742	4282	0,1	11,9	0,1	14
1	15	5024	1086	3938	0,1	11,0	0,1	14
0,5	35	1929	742	1187	0,1	3,3	0,1	5,4
0,5	15	1929	1086	843	0,1	2,5	0,1	5,5

On observe donc que quelle que soit la hauteur de remplissage de la roubine d'entrée sur l'exploitation, le coefficient de Strickler influe peu sur le temps de remplissage de la roubine et sur le temps de pompage maximal.

Annexe 10 – Variation du temps de pompage à la roubine en fonction du débit de pompage et du débit d'entrée

Le tableau suivant indique la variation du temps de pompage de la roubine d'entrée d'exploitation en fonction du débit de la pompe et du débit d'entrée. Les valeurs sont données pour un coefficient de Strickler égal à 35 (encombrement de début de saison).

Hauteur remplissage aval (Hav en m)	Débit de pompage (m3/s)	Volume initial (m3)	Volume minimal (m3)	Volume maximal pompé (m3)	Coefficient de Strickler	Temps de pompage maximal (h)	Débit en entrée (m3/s)	Temps de remplissage (h)
3,00	0,10	18703	742	17961	35	49,89	0,10	51,95
3,00	0,09	18703	742	17961	35	55,44	0,10	51,95
3,00	0,10	18703	742	17961	35	49,89	0,11	47,23
1,00	0,10	5023	742	4281	35	11,89	0,10	13,95
1,00	0,09	5023	742	4281	35	13,21	0,10	13,95
1,00	0,10	5023	742	4281	35	11,89	0,11	12,69
0,50	0,10	1929	742	1187	35	3,30	0,10	5,36
0,50	0,09	1929	742	1187	35	3,66	0,10	5,36
0,50	0,10	1929	742	1187	35	3,30	0,11	4,87

On remarque donc que l'introduction d'une différence de débit entrée l'entrée et la pompe permet d'augmenter le temps de pompage maximal si l'on bride la pompe, et de diminuer le temps de remplissage de la roubine si on augmente le débit en entrée. Dans les deux cas, cela représente un intérêt pour l'exploitation, puisque cela permet de diminuer le temps de travail.

Annexe 11 – Tableaux de correspondance entre le nombre de tours de martillère et le débit entrant dans la roubine d'entrée dans l'exploitation

Les tableaux suivants ont été réalisés en utilisant la formule de la vanne standard et le logiciel Canal 21. On a établi une correspondance entre la hauteur d'eau amont lue sur l'échelle et la hauteur de la martillère pour avoir un débit en entrée de 100 L/s. Nous avions également constaté qu'un tour de manivelle faisait monter ou descendre la martillère d'un centimètre. Nous avons donc pu établir une correspondance simple entre la hauteur d'eau amont et le nombre de tours de manivelle à donner.

Pour un débit d'entrée de 100 L/s on obtient les tableaux suivants, selon l'état d'encombrement de la roubine (coefficient de Strickler) :

Hypothèses

K	10
Hav (m)	0,59
Hcrépine (m)	0,2
L (m)	0,48
Cc	0,6
g	9,81
Q (m3/s)	0,1

K	35
Hav (m)	0,37
Hcrépine (m)	0,2
L (m)	0,48
Cc	0,6
g	9,81
Q (m3/s)	0,1

Résultats

Hroubine (m)	W (m)	Nombre de tours
0,1	Pas de débit suffisant	
0,2		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7	0,24	24
0,8	0,17	17
0,9	0,14	14
1	0,12	12
1,1	0,11	11
1,2	0,10	10
1,3	0,09	9
1,4	0,09	9
1,5	0,08	8
1,6	0,08	8
1,7	0,07	7
1,8	0,07	7
1,9	0,07	7
2	0,07	7
2,1	0,06	6
2,2	0,06	6
2,3	0,06	6
2,4	0,06	6
2,5	0,06	6
2,6	0,06	6
2,7	0,05	5
2,8	0,05	5
2,9	0,05	5
3	0,05	5

Hroubine (m)	W (m)	Nombre de tours
0,1	Pas de débit suffisant	
0,2		
0,3		
0,4		
0,5	0,21	21
0,6	0,16	16
0,7	0,14	14
0,8	0,12	12
0,9	0,11	11
1	0,10	10
1,1	0,09	9
1,2	0,09	9
1,3	0,08	8
1,4	0,08	8
1,5	0,07	7
1,6	0,07	7
1,7	0,07	7
1,8	0,07	7
1,9	0,06	6
2	0,06	6
2,1	0,06	6
2,2	0,06	6
2,3	0,06	6
2,4	0,05	5
2,5	0,05	5
2,6	0,05	5
2,7	0,05	5
2,8	0,05	5
2,9	0,05	5
3	0,05	5

Annexe 12 – Exemple d'une sortie obtenue sous le logiciel Canal 21

Voici un exemple d'une sortie du Logiciel Canal 21 et son utilisation pour nos calculs d'hydraulique :

canal21: résultats
fichier roubine entrée .kan
nombre de pas = 500
débit = 0.1 m3/s
HCrépine = 0.2000 m

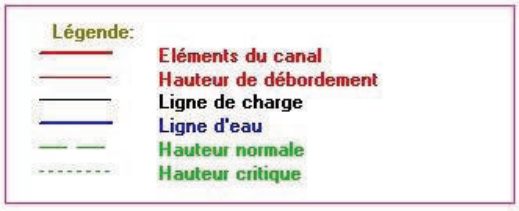
Descriptif de la ligne d'eau

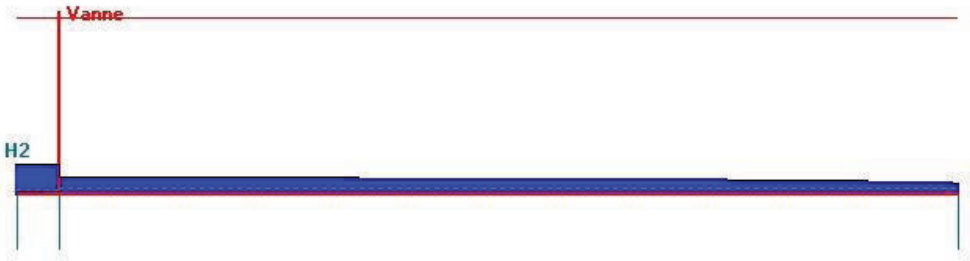
no . .	Elem m	x m	Zf m	Y m2	S
0	1	0.00	0.000	0.759	1.879
17	1	8.10	0.000	0.759	1.879
18	1	8.57	0.000	0.759	1.879
19	1	9.05	0.000	0.759	1.879
20	1	9.52	0.000	0.759	1.879
21	1	10.00	0.000	0.759	1.879
22	3	10.00	0.000	0.367	0.447
40	3	18.28	0.000	0.364	0.442
60	3	27.49	0.000	0.361	0.437
80	3	36.69	0.000	0.358	0.432
100	3	45.90	0.000	0.355	0.427
120	3	55.10	0.000	0.352	0.421
140	3	64.31	0.000	0.349	0.415
160	3	73.51	0.000	0.345	0.409
180	3	82.72	0.000	0.341	0.403
200	3	91.92	0.000	0.338	0.396
220	3	101.1	0.000	0.334	0.389
240	3	110.3	0.000	0.329	0.382
260	3	119.5	0.000	0.325	0.375
280	3	128.7	0.000	0.320	0.367
300	3	137.9	0.000	0.315	0.358
320	3	147.1	0.000	0.309	0.349
340	3	156.3	0.000	0.303	0.339
360	3	165.5	0.000	0.297	0.329
380	3	174.7	0.000	0.290	0.317
400	3	183.9	0.000	0.282	0.304
420	3	193.1	0.000	0.272	0.290
440	3	202.3	0.000	0.262	0.273
460	3	211.5	0.000	0.248	0.253
480	3	220.7	0.000	0.230	0.226
500	3	230.0	0.000	0.200	0.184

Les colonnes correspondent à :

No : numéro du pas de calcul
Elem : numéro de l'élément du modèle (ici 1 correspond à la roubine amont (la Petite Montlong, 2 correspond à la martillère, 3 correspond à la roubine avant la pompe).
X : abscisse
Y : Hauteur d'eau
S : Section mouillée

Le tableau précédent est associé au schéma suivant :





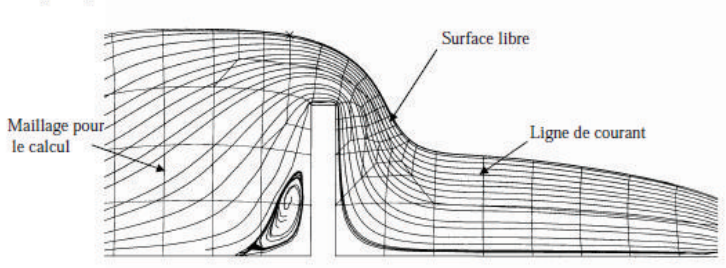
Grâce à ces résultats, on retrouve la hauteur d'eau en aval de la martillère (Hav ici égale à 0,321 m). On peut également déterminer le volume minimal dans la roubine pour pouvoir pomper (correspondant au volume sous la ligne d'eau, partie bleue du schéma). Pour ce faire, il suffit de multiplier les valeurs des colonnes « S » et « x » pour chaque ligne (attention à réinitialiser la colonne « x » à zéro). La somme de ces termes donne le volume total sous la ligne d'eau en m^3.

En changeant les hypothèses de départ dans le logiciel, nous avons pu obtenir les résultats des différentes simulations présentées dans le rapport.

Annexe 13 – Explication des notions d'hydrauliques abordées dans le rapport

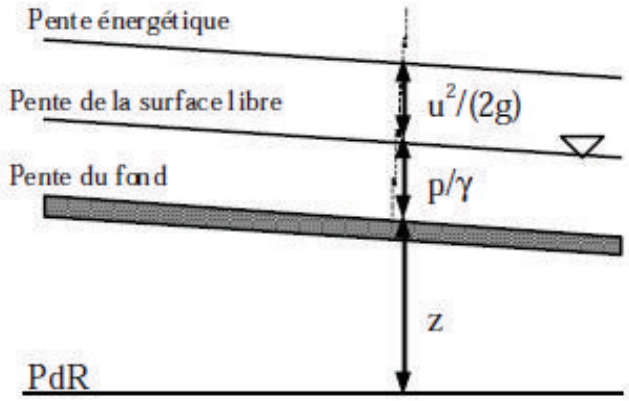
(d'après **José Vazquez,** *Hydraulique à surface libre*, ENGEES)

Les écoulements dans les canaux naturels (rivière) et artificiels (irrigation, assainissement) sont, dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre. La surface libre est l'interface entre l'air et l'eau. La pression y est égale le plus souvent à la pression atmosphérique.

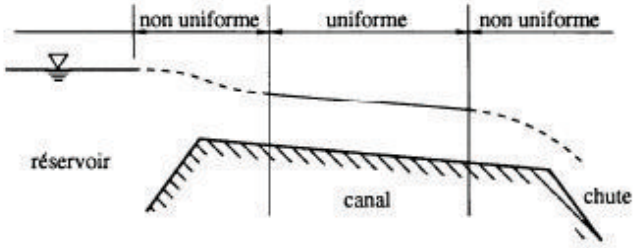


A. Ecoulement uniforme ou permanent

L'écoulement uniforme et permanent se caractérise par une constance des paramètres hydrauliques. Ainsi la vitesse moyenne, le tirant d'eau et donc le débit restent invariables dans les différentes sections du canal le long de l'écoulement. Les lignes de courants sont rectilignes et parallèles et la pression verticale peut donc être considérée comme hydrostatique. La pente de fond, la pente de la surface libre et la pente de la ligne d'énergie sont parallèles.



Dans les écoulements à surface libre, il est commode de considérer la charge par rapport au fond du canal que l'on désigne par la charge spécifique.



Si on admet que la pente du fond du canal est presque constante et positive et que les caractéristiques de rugosité ne changent pas considérablement, un état d'équilibre peut apparaître entre les forces de pesanteur et les forces de frottement.

La hauteur d'eau résultante s'appelle *hauteur normale* et ne dépend que du débit, du fluide, de la forme de la section ainsi que de la rugosité. Cette hauteur apparaît toujours après une distance importante (≈ 20 à 50 fois le diamètre) des conditions amont et aval.

L'écoulement véritablement uniforme est très rare dans les canaux. On ne l'observe que dans des canaux prismatiques très longs et situés loin des perturbations.

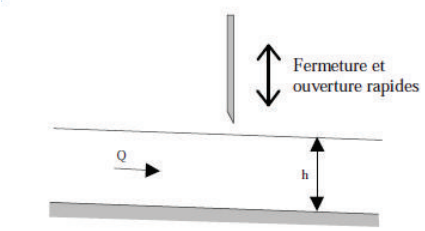
On a donc vu que la pente du canal (I), la pente de la surface libre (Psl), et la perte de charge (J) par unité de poids et par unité de longueur de canal sont identiques :

I = Psl = J et ceci pour des conditions fluviales ou torrentielles.

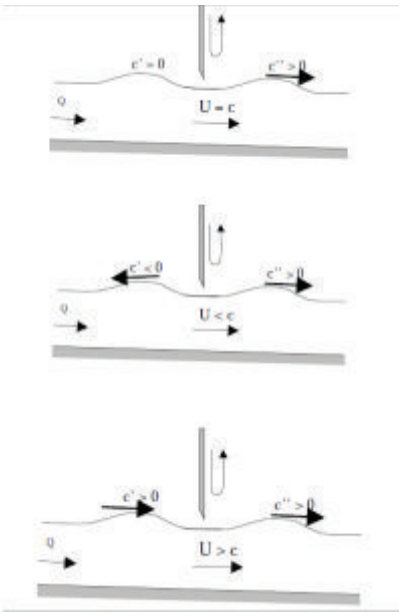
Dans notre étude, on se place dans les conditions d'un écoulement en régime permanent car prendre en compte le régime transitoire et les éventuelles variations de régime au cours des opérations de pompage aurait considérablement compliqué les calculs.

B. Régime fluvial ou torrentiel

Supposons un canal à section constante, à pente constante et avec une hauteur h et un débit constant Q. On crée une perturbation grâce à une vanne que l'on ferme et que l'on ouvre très rapidement.



Au niveau de la surface libre, il se crée deux ondes (ondes de gravité). L'une se propage toujours vers l'aval et l'autre se propage vers l'amont si la vitesse dans le canal est inférieure à la vitesse de l'onde de gravité ; elle s'oriente vers l'aval dans le cas contraire.



Avec : **U** : vitesse de l'écoulement
c : célérité des ondes
c' : vitesse de l'onde amont
c'' : vitesse de l'onde aval

Dans le cas où la vitesse du fluide est supérieure à la vitesse de l'onde c, l'amont n'est pas influencé par les conditions hydrauliques à l'aval (régime torrentiel) ; alors que, dans le cas contraire, on a une remontée de l'onde qui va perturber l'amont (régime fluvial), ce phénomène est appelé influence aval. C'est ce phénomène que l'on retrouve dans la roubine en entrée d'exploitation. En effet, on considère pour tous nos calculs que l'écoulement est piloté par le fonctionnement de la pompe.

Annexe 14 – Fiche descriptive du projet

Montpellier SupAgro
DEVE - SERVICE EMPLOI - FORMATION
PROJET D'ELEVES INGENIEURS

PROJET D'ELEVES INGENIEURS 2012
DESCRIPTIF DU PEI
PROJET N°32

Géraldine CHAMUSSY - 04 99 61 29 84 – geraldine.chamussy@supagro.inra.fr – chargée de mission PEI
Chantal LEFEBVRE- 04 99 61 28 28 – chantal.lefebvre@supagro.inra.fr – assistante PEI

ORGANISME COMMANDITAIRE	SARL DU MAS SAINT GERMAIN
ADRESSE	CHEMIN DE FIELOUSE – VILLENEUVE CAMARGUE – 13200 ARLES
SIRET	489 942 359 00014
REPRESENTANT	LAURE VADON
IDENTITE - FONCTION	EXPLOITANTE ET GERANTE
TUTEUR PROJET – INTERLOCUTEUR PRINCIPAL	IDEM
IDENTITE - FONCTION	
TEL FIXE ET PORTABLE	04 90 97 00 60 – 06 16 92 34 98
MAIL	laure@massaintgermain.com
TITRE DU PROJET	Analyse et amélioration du système hydraulique de l'exploitation.

TYPE DE PROJET	**Secteur concerné**	**Domaine concerné**	**Nature du projet**
	☐ Agronomie, agriculture, viticulture, arboriculture, horticulture, ... ☐ Agro-alimentaire ☒Environnement, aménagement, développement ☐ Autre :	☒ Technique ☐ Economie ☐ Sociologie ☐ Action culturelle et éducation ☐ Technologies de l'information et de la communication ☐ Autre :	☐ Enquête ☐ Etude ☐ Faisabilité ☐ Conception ☒ Diagnostic ☒ Prospective-Préconisations ☐ Autre :

CONTEXTE	Dans un exploitation agricole familiale de 160ha où sont pratiqués l'agriculture bio et l'élevage de taureaux et chevaux, le système hydraulique fonctionne mal. Il n'a pas été conçu pour l'élevage, seulement pour la partie culture. Il est peu entretenu. Certains ouvrages sont endommagés.
OBJECTIFS	Déterminer les besoins hydrauliques de l'exploitation en quantité, les cartographier, ainsi que la circulation d'eau existante, identifier les dysfonctionnements, et proposer la restructuration qui permettra, en fonction du débit entrant déterminé par l'ASA locale, de satisfaire aux besoins d'irrigation et d'abreuvement des animaux, de limiter les déperditions et les rejets à l'étang de Vaccarès.
PARTENAIRES	
LIEU DE REALISATION	MAS SAINT GERMAIN – PARC NATUREL REGIONAL DE CAMARGUE.
TRAVAIL A REALISER	Mesure des débits existants, mesure des capacités existantes, analyse des besoins en eau, cartographie du réseau, identification des dysfonctionnement, propositions d'amélioration du réseau.
RESULTATS ATTENDUS	Information concernant les débits actuels, information concernant les besoins hydriques, proposition de restructuration incluant le plan détaillé des ouvrages à reprendre pour permettre l'irrigation et l'abreuvement des animaux. Limitation des déperditions et rejets d'eau.
CONFIDENTIALITE	Communication soumise à autorisation.
MOYENS MIS A DISPOSITION	▪ **Voiture : (oui-non) NON** ▪ **Budget : (euros)** ▪ **Matériel :** ▪ **Autre :**
BESOINS LIES AU PROJET	▪ **Langues :** ▪ **Déplacements (lieu ? fréquence ?) sur l'exploitation** ▪ **Outils informatiques** ▪ **Délai particulier**

Annexe 15 – Budget prévisionnel

COMMANDITAIRE : LAURE VADON – MAS SAINT GERMAIN

TITRE DU PROJET : **Analyse et amélioration du système hydraulique de l'exploitation du Mas Saint Germain**

ETUDIANTS : CHAMPEYROUX CHLOE – NOURI MAROUA - PATRICE PIERRE – RASSON ELODIE – RICHON CAMILLE

DEPLACEMENTS

Dates prévisionnelles	Lieu	Objet	Distance A/R en km	Péage Parking	Nombre de personnes	Frais de repas	Frais de nuitées	Coût par déplacement (1)
Mars 2012 (x1) Avril 2012(x1) Juin 2012 Septembre 2012	Mas Saint Germain	-Rencontre avec le commanditaire -Réunion tripartite -Visites -Mesures de terrain	170km	0	4	0	0	42€
Juin 2012	Merle	Visite Observation d'un réseau hydraulique modernisé	240km	15€	4	0	0	75€
							TOTAL DEPLACEMENTS	**~500€**

Puissance du véhicule : ____5___ CV

(1) : Indemnités kilométriques : 5 CV et moins : 0.25€/km 6-7 CV : 0.32 €/km 8CV : 0.35 €/km

Indemnités repas et nuitées sur facture

TELEPHONE

Estimation du nombre et de la durée des appels en local, national, international et vers un portable :

___0_____

(Si utilisation du téléphone de la salle PEI, compter un forfait minimal de 15 euros)

TOTAL TELEPHONE	**0€**

REPROGRAPHIE

Environ 11 exemplaires photocopiés N&B et couleur (150 euros maximum)

TOTAL REPROGRAPHIE	**150€**

CONSOMMABLES

Clés USB, Photocopie des questionnaires,… A préciser :

TOTAL CONSOMMABLES	**0€**

ACHATS DIVERS, AUTRE

Photographies aériennes, cartes topographiques, ouvrages, commande d'études, … A préciser :

TOTAL DOCUMENTS	**?**

LOGISTIQUE ET FRAIS DE GESTION ADMINISTRATIVE

FRAIS FIXES : Facturés obligatoirement pour tous les projets :

Pour les conventions avec mémoire (gestion des remboursements des dépenses liées au projet par SupAgro) : **150 €**
Pour les conventions directes (gestion des remboursements des dépenses liées au projet par le commanditaire): **75€**

TOTAL GESTION LOGISTIQUE	**75€**

MONTANT TOTAL en € (1500 euros maximum)	**725€**

Annexe 16 – Note de cadrage

Commanditaire : Laure Vadon
Titre : Analyse et amélioration du système hydraulique du Mas Saint-Germain
Etudiants : Rasson Elodie, Richon Camille, Patrice Pierre, Champeyroux Chloé
Date du comité : 15/05/2012
Membres du jury présents : Gilles Belaud, Géraldine Chamussy, Laure Vadon

	Remarques/Questions posées par le jury	**Conseils, aides possibles, informations complémentaires à obtenir**	**Redéfinitions, réorientations, recentrage proposé pour finalisation du cahier des charges**
Problématique et objectifs	Problématique mal présentée et objectifs mal organisés	Réorganisation du plan	Réaliser une carte de l'exploitation montrant les points à travailler
Etude du contexte	L'exploitation est d'abord une exploitation familiale et non un regroupement d'une SARL et d'une EARL		
Risques **Difficultés** **Faisabilité du projet**	Risque de manque de temps car beaucoup de points abordés	Ne pas perdre trop de temps avec la carte et avec la pompe alta qui est un point comme les autres	Travailler en priorité sur l'irrigation et l'abreuvement des animaux
Nature et organisation du travail : actions		Mesures de terrain à prévoir en fonction du travail sur les parcelles : prendre les mesures de débits au moment de l'irrigation	Prévoir 2 mesures de débit : une sur prairie haute et une sur prairie fraîchement coupée
Calendrier **Répartition des tâches** **Budget** **Type de convention**	Absence de planning, choix d'une convention directe	Rédaction d'un rétroplanning, organisation et planification des visites sur l'exploitation.	Garder le temps d'élaboration de la carte numérique à la fin du travail
Résultats visés			2 points majeurs à aborder : quantification des utilisations d'eau et préconisations pour l'irrigation Proposition de solutions pour l'aménagement des berges
Confidentialité			
Qualité de la prestation : diaporama, présentation orale, réponse aux questions, argumentation	Manque d'organisation des objectifs	Définir le contexte et les termes pour les personnes du jury ne connaissant pas l'exploitation	
Autre			

Annexe 17 – Cahier des charges

Commanditaire : Laure VADON
Tuteur Campus : Gilles BELAUD

Intitulé du Projet : Analyse et amélioration du système hydraulique de l'exploitation du Mas Saint Germain

Etudiants : Camille RICHON, Maroua NOURI, Elodie RASSON, Pierre PATRICE, Chloé CHAMPEYROUX

Problématique et objectifs du projet

- Enjeux principaux du projet
  Optimisation du réseau hydraulique de l'exploitation
- Objectifs et priorités
  Le rôle de l'équipe PEI est de réaliser une analyse du système existant et de proposer des pistes de remise en état et d'optimisation du réseau en prenant en compte à la fois l'assolement des cultures et l'élevage.
- Identification des risques et opportunités ?

	Positif	Négatif
Origine interne	**Forces** . Motivation . Intérêt pour le projet . bonne cohésion de groupe	**Faiblesses** . Manque d'expérience et de connaissance en irrigation
Origine externe	**Opportunités** . Implication du commanditaire et du tuteur campus . Disponibilité des outils	**Menaces** .Eloignement du lieu d'étude .Grande exploitation . Complexité du sujet liée à l'élevage

- Projet confidentiel

Présentation du contexte du projet

- Commanditaire : Laure VADON, exploitante de la SARL du Mas Saint Germain en Camargue
- Eléments du contexte :
  - Exploitation familiale en Camargue subdivisée en SARL et EARL
  - Elevage de taureaux, cultures céréalières et riziculture
  - Approvisionnement en eau par le canal et la roubine
  - Système hydraulique ancien, roubine peu entretenue, piétinement des zones d'abreuvement et destruction des berges

- Périmètre de l'étude, zone géographique : En Camargue, exploitation de 160 hectares
- Les acteurs (parties prenantes) : le commanditaire, le tuteur campus, les étudiants de SupAgro
- Les compétences à mobiliser : cartographie, analyse, créativité, synthèse

- Les contacts à établir, personnes ressources (professionnels, chercheurs…) : le tuteur campus Gilles Belaud, la commanditaire Laure Vadon.

Prendre contact avec le gérant du domaine du Merle ; Nicolas Devaux (Professeur à Montpellier SupAgro) pour le système d'informations géographique ; M.Bocquier (Professeur à Montpellier SupAgro) pour des informations sur l'élevage ; la chambre d'agriculture du Cantal pour des idées de solution durable à propos de l'abreuvement des animaux.

Nature et organisation du travail

- Actions à conduire (3R)
- Planning (PERT), en intégrant les étapes clés, les dates cibles (préciser les dates où des résultats partiels doivent être rendus) et les périodes d'absences (stages, vacances)
- Budget prévisionnel (cf trame du budget)
- Rôles et responsabilités de chacun des membres du groupe pour le management du PEI : communication (Pierre Patrice), gestion des réunions (Camille Richon), tenue du planning (Chloé Champeyroux), tenue du budget (Elodie Rasson)
- Indicateurs d'avancement du projet : réalisation des étapes intermédiaires réalisées aux dates clés indiquées sur le planning

Résultats visés, produits livrables

- Nature des résultats : diagnostic, conception d'une carte numérique, rapport écrit
- Impacts du projet : réorganisation de l'irrigation des parcelles, conception de points d'abreuvement pour l'élevage, protection des berges
- Livrables : carte numérique, rapport écrit

Annexe 18 – Budget final

COMMANDITAIRE : LAURE VADON – MAS SAINT GERMAIN
TITRE DU PROJET : **Analyse et amélioration du système hydraulique de l'exploitation du Mas Saint Germain**
ETUDIANTS : CHAMPEYROUX CHLOE – NOURI MAROUA - PATRICE PIERRE – RASSON ELODIE – RICHON CAMILLE

DEPLACEMENTS

Dates prévisionnelles	Lieu	Objet	Distance A/R en km	Péage Parking	Nombre de personnes	Frais de repas	Frais de nuitées	Coût par déplacement (1)
Mars 2012 (x1) Avril 2012(x1) Juin 2012 (x1) Septembre 2012 (x1) Octobre 2012 (x1)	Mas Saint Germain	-Rencontre avec le commanditaire -Réunion tripartite -Visites -Mesures de terrain	170km	0	4	0	0	42€
Juin 2012	Merle	Visite Observation d'un réseau hydraulique modernisé	240km	15€	4	0	0	75€
							TOTAL DEPLACEMENTS	**285€**

Puissance du véhicule : ____5___ CV
(1) : Indemnités kilométriques : 5 CV et moins : 0.25€/km 6-7 CV : 0.32 €/km 8CV : 0.35 €/km
Indemnités repas et nuitées sur facture

TELEPHONE

Estimation du nombre et de la durée des appels en local, national, international et vers un portable :
___0_____
(Si utilisation du téléphone de la salle PEI, compter un forfait minimal de 15 euros)

TOTAL TELEPHONE	**0€**

REPROGRAPHIE

Environ 11 exemplaires photocopiés N&B et couleur (150 euros maximum)

TOTAL REPROGRAPHIE	**150€**

CONSOMMABLES

Clés USB, Photocopie des questionnaires,… A préciser :

TOTAL CONSOMMABLES	**0€**

ACHATS DIVERS, AUTRE

Photographies aériennes, cartes topographiques, ouvrages, commande d'études, … A préciser :

TOTAL DOCUMENTS	**?**

LOGISTIQUE ET FRAIS DE GESTION ADMINISTRATIVE

FRAIS FIXES : Facturés obligatoirement pour tous les projets :

Pour les conventions avec mémoire (gestion des remboursements des dépenses liées au projet par SupAgro) : **150 €**
Pour les conventions directes (gestion des remboursements des dépenses liées au projet par le commanditaire): **75€**

TOTAL GESTION LOGISTIQUE	**75€**

MONTANT TOTAL en € (1500 euros maximum)	**510€**

Annexe 19 – Compte-rendus de réunions

Compte-rendu de la réunion du 19 mars 2012

Lieu : Mas Saint Germain
Présents : Mme Laure Vadon (commanditaire du projet), Pierre Patrice, Chloé Champeyroux, Elodie Rasson, Camille Richon.
Ordre du jour : présentation de l'exploitation et des attentes de la commanditaire sur le projet

Le but de cette visite est de prendre conscience des problèmes liés au réseau hydraulique que rencontre l'exploitation en se rendant sur le terrain. Mme Laure Vadon, exploitante du Mas Saint Germain, nous a alors expliqué le fonctionnement de l'exploitation et nous a fournis une carte de l'exploitation, un parcellaire ainsi que des photocopies des factures d'électricité et d'eau de l'exploitation.

L'exploitation familiale de 160 ha est composée d'une partie SARL gérée par Mme Laure Vadon, et d'une partie EARL gérée par son frère M. Germain Vadon. Notre projet devra porter sur certains problèmes de l'EARL et la SARL. L'exploitation cultive du riz et du blé biologiques sur 22 ha et élève des taureaux de course camarguaise et des chevaux.

Le mode d'irrigation gravitaire nous a été présenté précisément : droit d'eau, localisation des canaux, des roubines et des deux pompes, fréquence des irrigations,… Mme Laure Vadon nous a alors fait part des problèmes rencontrés sur l'exploitation. Le système hydraulique n'est pas adapté à la présence des animaux. Ces derniers viennent s'abreuver directement dans les canaux et dégradent les berges. Par ailleurs, le système est vieillissant et nécessitent des rénovations à certains endroits. Un état des lieux doit être effectué. Une carte précise de l'exploitation nous est également demandée afin de lister les structures actuelles et de prévoir les travaux à mettre en œuvre.

L'exploitante veut également connaître les besoins réels de ses parcelles et souhaiterait irriguer des parcelles qui ne le sont pas pour le moment. Les volumes d'eau d'irrigation (droits d'eau) dont le mas dispose ne sont pas limitants mais les exploitants souhaiteraient optimiser leur utilisation de l'eau et ainsi limiter les déperditions et les rejets vers l'étang de Vaccarès qui se situe à proximité de l'exploitation.

Les endroits d'intérêts pour notre projet nous ont ensuite été montrés : pompe en entrée d'exploitation, pompe Alta, canal et roubine de la Petite Montlong, érosion des berges le long des canaux et roubines. Tout ceci nous a permis de prendre en considération les attentes de notre commanditaire.

Compte-rendu de la réunion du 19 avril 2012

Lieu : Mas Saint Germain
Présents : Mme Laure Vadon, M. Gilles Belaud (tuteur campus), Chloé Champeyroux, Pierre Patrice, Elodie Rasson Camille Richon.
Ordre du jour : réunion tripartite numéro 1

Le but de cette réunion tripartite est de vérifier l'adéquation entre les attentes de notre commanditaire et leur faisabilité par des élèves ingénieurs agronomes.

Les besoins en eau des animaux doivent être quantifiés à l'aide de recherches bibliographiques. Les propositions d'aménagements doivent prendre en considération les moyens financiers de l'exploitation.

Un contact avec le domaine du Merle, exploitation expérimentale de Montpellier SupAgro, doit être pris afin de pouvoir proposer de nouvelles infrastructures permettant l'irrigation. Les devis des travaux éventuels ne seront pas fournis, mais des contacts d'entreprises et un ordre d'idée des coûts occasionnés seront proposés.

Les quantités d'eau apportées doivent être comparées aux besoins réels des cultures. Des mesures de débit, lors d'une irrigation, doivent donc être mises en œuvre sur une parcelle type. Un

débitmètre ou courantomètre pourront être utilisés. Le résultat obtenu sera ensuite transposé au reste de l'exploitation.

Les caractéristiques de la pompe Alta et les problèmes d'irrigation au niveau des parcelles voisines de la pompe ont été analysés : le débit est suffisant pour irriguer les deux parcelles mais il est trop important pour n'en irriguer qu'une seule (de l'eau est donc perdue), l'irrigation doit souvent se faire en deux fois (vidange de la roubine). Un système de retour de l'eau dans la roubine, qui est en surplus lors du pompage, doit alors être envisagé. Des mesures topographiques au niveau du canal relié à la pompe Alta permettraient de quantifier la perte de charge et d'étudier ce retour.

Compte-rendu du 18 juin 2012

Lieu : exploitation du Merle, à Salon de Provence
Présents : M.François Charron (directeur adjoint du Merle), Chloé Champeyroux, Pierre Patrice, Elodie Rasson, Camille Richon.
Ordre du jour : étude des infrastructures d'irrigation gravitaire du domaine du Merle

Le domaine du Merle accueille des troupeaux ovins. Mais son réseau hydraulique (réservé à l'irrigation des parcelles) ne subit pas de dégradations de la part des animaux qui n'y ont pas accès.

Le domaine du Merle est une exploitation agricole expérimentale possédant différents types d'infrastructures d'irrigation gravitaire. Nous avons ainsi pu voir :

- Un canal en béton porté : ce canal permet un transport rapide de l'eau. Construit en béton, il est particulièrement résistant et nécessite peu d'entretien. Il est possible de le recouvrir à certains endroits pour permettre le passage des animaux.
- Un canal en béton projeté avec un fond drainant : Ce canal permet le transport de l'eau. Il possède un flanc plus bas que l'autre, permettant aussi l'abreuvement des animaux, sans dégradation puisque le béton, de très grande qualité, offre une très grande résistance. De lourds travaux sont nécessaires et les matériaux utilisés coûteux.
- Les membranes en PVC ou polyéthylène : des membranes sont disposées sur les canaux en terre. Cette solution est peu coûteuse mais également peu durable car les membranes doivent être remplacées au bout de quelques années. Trop fragiles, elles ne permettent l'abreuvement des animaux. De plus, un système de martillères ne peut pas être mis en place.

M.François Charron nous a également permis de consulter les documents des travaux de ces infrastructures. Ceci nous a permis d'avoir un ordre de prix et de relever des contacts d'entreprises pouvant réaliser les travaux.

Compte-rendu de la visite du 25 juin 2012

Lieu : Mas Saint Germain
Présents : Chloé Champeyroux, Pierre Patrice, Elodie Rasson, Camille Richon.
Ordre du jour : mesures des débits et relevés topographiques au niveau de la pompe Alta

Le débit à la sortie de pompe en entrée d'exploitation a été mesuré à l'aide d'un courantomètre. La vitesse du courant a été mesurée en plusieurs points de la section mouillée.

Nous avons tenté de mesurer le débit en entrée de la parcelle Pré de Devant. Mais la vitesse d'écoulement est faible. L'appareil ne semble pas être suffisamment sensible pour la mesurer. Nous avons également tenté de vérifier que le débit dans le canal d'entrée était conforme aux droits d'eau de 1L/s. Nous nous sommes alors heurtés aux mêmes problèmes que pour la mesure de débit au niveau de la parcelle type.

Afin de comparer les coûts d'irrigation par le canal et par la roubine, nous avons vérifié la consommation électrique de la pompe en entrée d'exploitation.

Un relevé topographique au niveau du canal relié à la pompe Alta a été effectué à l'aide d'une mire pour étudier un éventuel retour de l'eau en surplus à la roubine.

Compte-rendu de la réunion du 27 septembre 2012

Lieu : Mas Saint Germain
Présents : Mme Laure Vadon, M.Gilles Belaud, Chloé Champeyroux, Maroua Nouri, Pierre Patrice, Elodie Rasson, Camille Richon.
Objet : Réunion tripartite numéro 2

Le but de cette réunion tripartite est de présenter des résultats intermédiaires et recadrer le projet, si nécessaire. Une 5ème étudiante, Maroua Nouri, s'est intégrée à notre groupe de Projet d'Elèves Ingénieurs. Cette visite nous a également permis de lui présenter l'exploitation.

Un compte-rendu de notre visite du domaine du Merle a été remis à Mme Laure Vadon. Il contient des contacts d'entreprises pouvant réaliser les travaux. Nous lui avons alors présenté les solutions les plus adaptées à son exploitation. Une première ébauche de la carte numérique réalisée à l'aide d'un logiciel SIG lui a été présentée. Cette carte présente le réseau hydraulique, le parcellaire et les pompes. Des corrections sur le réseau tracé ont été apportées par Mme Vadon.

La pompe Alta est tombée en panne et les exploitants ne prévoient pas de la réparer dans l'immédiat donc l'étude du retour de l'eau pompée en surplus n'est plus à envisager dans notre projet.

Des informations supplémentaires concernant le droit d'eau de 1L/s au niveau du canal ont été demandées. Il faudrait savoir ce que représente réellement ce chiffre.

Les infrastructures proposées devront être adaptées aux besoins des cultures que nous allons calculés.

Le réseau hydraulique en entrée d'exploitation a ensuite été analysé. Nous avons étudié la correspondance entre l'ouverture de la martillère et le nombre de tours effectués, les dimensions de certains ouvrages, comme la roubine de la petite Montlong, ont été prises.

Résumé

Exploitation agricole familiale située en Camargue, le Mas Saint Germain possède un système hydraulique vieillissant et inadapté aux taureaux et chevaux présents. L'exploitante, Mme Laure Vadon, nous a donc demandé de lui présenter un état des lieux actuel de ce réseau et de proposer des améliorations permettant de l'adapter non seulement aux cultures mais également aux animaux.

Cette étude a débuté par des recherches bibliographiques concernant des méthodes d'abreuvement des animaux, écologiques et adaptées aux besoins de l'exploitation. Grâce à une visite sur l'exploitation agricole expérimentale du Merle (domaine rattaché à Montpellier SupAgro), située à Salon de Provence, des propositions de travaux concernant les infrastructures hydrauliques ont été soumises à la commanditaire. Des contacts d'entreprises pouvant réaliser ces travaux ont également été proposés.

Suite à des problèmes de mesures des quantités d'eau apportées aux parcelles, le projet a conduit à la création de modèles permettant de quantifier les besoins réels des cultures, selon la saison et les données météorologiques. Il a ainsi été possible de déterminer les temps d'irrigation nécessaires. Ces modèles ont été mis à la disposition du Mas Saint Germain.

Il a également été mis à la disposition de la commanditaire une carte numérique construite à l'aide d'un logiciel de SIG présentant l'état actuel du système hydraulique et pouvant évoluer selon les modifications futures de l'exploitation.

Les solutions d'aménagements et de rénovation du réseau hydraulique s'inscrivent dans une démarche de développement durable puisqu'elles visent à optimiser l'utilisation de l'eau sur l'exploitation et limiter les déperditions à l'étang de Vaccarès, situé près de l'exploitation.

Mots clés

Irrigation, canal, roubine, débit, abreuvement, cartographie (SIG), état des lieux, droit d'eau, modélisation

Montpellier SupAgro

Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques de Montpellier
2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02
Site Internet : http://www.supagro.fr